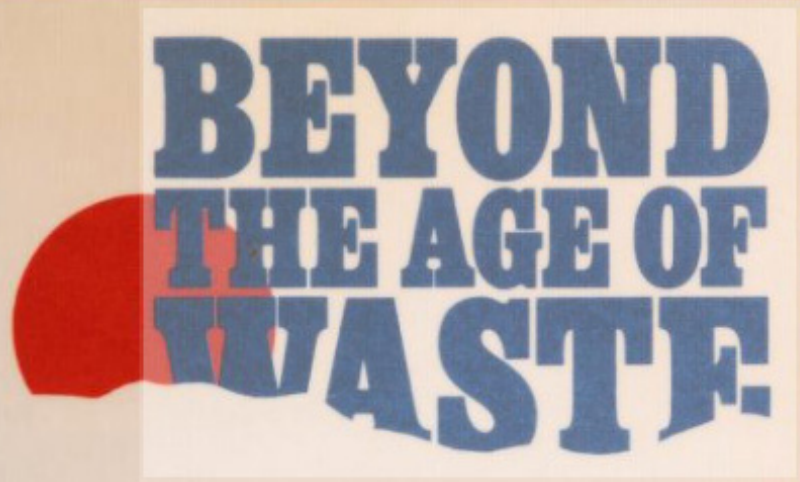



# Voorbij het tijdperk van verspilling

**Dennis Gabor, Umberto Colombo,
Alexander King, Riccardo Galli**

**A Club of Rome Report**

Digitized by the Internet Archive
in 2018 with funding from
Kahle/Austin Foundation

https://archive.org/details/beyondageofwaste0000gabo_o6n0

HC
59
.G2313
1981

16.1
0756724

0 0 2 7 7 8 1 8 1

1694347

HUMBER COLLEGE LIBRARY

Date Due

| | | | |
|---|---|---|---|
| MAR 08 1989 | | | |
| FEB 23 | 1989 | | |
| DEC 07 | 1992 | | |
| NOV 25 | 1992 | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

| | |
|---|---|
| U.K. | Pergamon Press Ltd., Headington Hill Hall. Oxford OX3 OBW. England |
| U.SA. | Pergamon Press Inc ., Maxwell House Fairview Park. Elmsford, New York I0S23, U.S.A, |
| CANADA | Pergamon Press Canada Ltd., Suite 104, 150 Consumers Rd., Willowdale, Ontario M2J IP9,Canada |
| AUSTRALIA | Pergamon Press (Aust.) Pty. Ltd., P.O. Box 544, Potts Point, N.S.W 2011 Australia |
| FRANCE | Pergamon Press SARL, 24 rue des Ecoles. 75240 Paris, Cedex 05, France |
| FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY | Pergamon Press GmbH, 6242 Kronberg-Taunus,Hammerweg 6. Federal Republic of Germany |

**Copyright© 1981 Pergamon Press Ltd.**

*All Rights Reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means: electronic. electrostatic. magnetic tape. mechanical, photocopying, recording or otherwise, without permission in writing from the publishers*

**First edition 1978**
**Second edition 1981**

**British Library Cataloguing In Publicatlon Data**
**Gabor, Dennis**
**Beyond the age of waste. -2nd ed. -**
**(Pergamon international library)**

I. Conservation of
natural resources
I. Title
II. Colombo,Umberto
III. Club of Rome

**333.7'2 S936 80-41614**

**ISBN 0-08-027303-3 (Hardcover)**
**ISBN 0-08-027304-1 (Flexicover)**

**This is a translation of the book *Oltre l'Eta dello Spreco* published by A. Mondadori**

Omgezet naar pdf , vertaald en gele markering
door Fons Lefeber (2026)

***Printed in Great Brittain** by A. Wheaton & Co. Ltd., Exeter*

# *Voorwoord door Aurelio Peccei*

Dit boek doet verslag van de resultaten van een studie die door de **Club van Rome** werd geïnitieerd naar aanleiding van de controverse die de publicatie van ***De grenzen aan de groei*** opriep. Ten tijde van dit eerste rapport aan de Club werd opgemerkt dat zij niet had overwogen in hoeverre de technologische ontwikkeling het naderen van de materiële limieten door de mensheid zou kunnen verhinderen of op zijn minst vertragen, een punt dat sommige critici snel aangrepen.

Technologie, die put uit een steeds groter wordende wetenschappelijke kennisbron, is een belangrijke factor geweest in de vormgeving van de wereld waarin we leven. Het heeft enorme voordelen opgeleverd, maar ook, door het gebrek aan sociale en politieke sturing, veel ongewenste en zelfs gevaarlijke bijwerkingen. Wetenschap en technologie zouden, mits verstandig gepland en georiënteerd, zeker een grote bijdrage kunnen leveren aan de verbetering van de situatie van de mensheid als geheel en kunnen helpen bij het oplossen van vele aspecten van die wirwar van wereldproblemen die we *de problematiek* noemen, die centraal staat in de belangstelling van de Club van Rome. Persoonlijk heb ik altijd het gevoel gehad dat we in de huidige hachelijke situatie dringend behoefte hebben aan meer kennis over de mens, zijn samenlevingen, de aardse omgeving en hun interacties, evenals meer wijsheid in het gebruik van onze kennis. Vandaar dat elke suggestie dat er een soort moratorium op wetenschappelijk onderzoek zou moeten komen, behalve dat het bijna onmogelijk is, mij noodzakelijkerwijs zelfvernietigend lijkt.

We hebben meer onderzoek nodig, niet minder; de vraag is echter wat voor soort onderzoek moet worden ondernomen en met welk doel? In het verleden zijn te veel van onze onderzoeksinspanningen, over de hele wereld, gesteund vanwege zijn potentiële bijdrage aan defensie en economische groei of voor de boost die het gaf aan nationaal prestige, terwijl te weinig bestemd was om te voorzien in echte menselijke behoeften om menselijke problemen te verlichten. Erger nog, wetenschappelijke kennis werd per definitie als heilzaam beschouwd en de technologische toepassingen ervan werden gelijkgesteld met

"vooruitgang", zelfs wanneer grote delen van de wereldbevolking verbijsterd en verward waren door nieuwe concepten die botsten met diepgewortelde waarden, of niet in staat waren de levenswijzen die door dergelijke vooruitgang teweeg werden gebracht, te begrijpen en zich eraan aan te passen. De wereldproblematiek is zo hardnekkig geworden -en zelfs de wijsten onder ons kunnen niet aangeven hoe deze met succes moet worden aangevallen- juist omdat mensen over de hele wereld niet in staat zijn te leven als tijdgenoten van hun techno-wetenschappelijke vooruitgang. In de toekomst zou de mens zijn verkenning van het onbekende en het onderzoek naar de vele crises van de mensheid niet alleen moeten heroriënteren, maar zou een groot deel ervan systematisch gericht moeten zijn op terreinen van onwetendheid die relevant zijn voor de algehele ontwikkeling van het individuele mens. Alleen met betere mannen en vrouwen kan een betere samenleving worden gevormd, die in staat is om nog een paar miljard mensen fatsoenlijk te huisvesten, om verdere doses geavanceerde technologie te absorberen en te beheersen, en tegelijkertijd om de planeet in een redelijke staat van gezondheid te houden.

Naar mijn mening kan er geen oplossing van het probleem zijn en geen substantiële verbetering van de wereld-situaties als we hoofdzakelijk vertrouwen op technocratische of mechanistische methoden. In het hedendaagse denken wordt er maar al te vaak impliciet van uitgegaan dat wanneer zich moeilijkheden voordoen –zoals een energiecrisis, stijgende grondstofprijzen of voedseltekorten voor hongerende massa's– marktkrachten de economische factoren zullen beïnvloeden, of dat gebeurtenissen in het algemeen zullen leiden tot de ontwikkeling van nieuwe technologieën om de situatie te corrigeren. Los van de kosten in menselijk lijden die dergelijke automatische aanpassingen met zich meebrengen, kunnen we de misvatting van deze verwachtingen praktisch dagelijks met eigen ogen zien. Met name de lange ontwikkelingsfase van nieuwe technologie, zoals dit boek aangeeft, maakt deze tot een onzekere basis voor kortetermijnbeleid, in tijden van snelle veranderingen zoals de huidige. De grote problemen waarmee de mensheid nu wordt geconfronteerd, moeten inderdaad op een wezenlijk humanistische manier worden benaderd door geesten die getraind zijn in vele disciplines en gevoed worden door een breed scala aan ervaringen, naast de strikt technologische.

Tijdens verschillende discussies in de Club van Rome is herhaaldelijk benadrukt dat het hoogst onwaarschijnlijk is dat de fysieke grenzen van het menselijk bestaan ooit bereikt zullen worden, want daarvoor staan een hele reeks immateriële barrières, die van nature politiek, economisch, sociaal en bestuurlijk van aard zijn, kortom, wezenlijk inherent aan

het nog onvoldoende ontwikkelde vermogen van de mens om de immense en complexe kunstmatige systemen die hij op aarde heeft gecreëerd, te besturen in concurrentie met de natuurlijke. In het huidige programma van de Club van Rome wordt daarom gepoogd om, naast de puur materiële, ook andere elementen van de wereldproblematiek te verhelderen. Het tweede rapport aan de Club van Rome, ***De mensheid op een kruispunt***, van Mihajlo Mesarovic en Eduard Pestel, biedt bijvoorbeeld een aanzet tot een techniek waarmee besluitvormers alternatieve strategieën en beleidsmaatregelen kunnen onderzoeken en de mogelijke gevolgen ervan kunnen begrijpen, voordat ze hun actie-lijnen bepalen. In dit model is het mogelijk om politieke overwegingen en waardeoordelen te integreren. De aanpak is in wezen constructief en wordt nu door verschillende regeringen getest als een mogelijke manier om de traditionele methoden van beleidsvorming te versterken en te verbeteren, ten minste op brede schaal.

In het RIO-project -Reshaping the International Order- analyseren Jan Tinbergen en zijn collega's het bestaande wereld-economische systeem en de werking ervan, met speciale aandacht voor het verkleinen van de verschillen tussen rijke en arme landen in levensomstandigheden en kansen. Dit project moet bijdragen aan een beter begrip van veel economische, politieke en institutionele aspecten van de wereldproblematiek. Het presenteert veel hervormingsvoor-stellen, waarvan sommige noodzakelijkerwijs controversieel zullen zijn. In een nieuwe studie voor de Club van Rome, '*Goals of Mankind*', doet Ervin Laszlo een eerste poging om door te dringen tot de kern van de waardesystemen van onze samenlevingen en zal hij proberen een groep doelstellingen te formuleren die de mensheid als geheel gemeen heeft en die door de culturen, religies en ideologieën, die in hun uitingen zo uiteenlopend en vijandig tegenover elkaar staan, geaccepteerd kunnen worden. Om zulke gemeenschappelijke delers te vinden, moet de zoektocht diep ingaan op de nieuwe ethische fundamenten, die anders zijn dan alles in het verleden, en die het onze trotse soort, die de planeet heeft veroverd en zich steeds dieper verdiept in de geheimen van materie en leven, mogelijk maken om dit kleine deel van het universum dat haar domein is, wijs te besturen.

Naast de bovengenoemde projecten begint de Club van Rome de ontoereikendheid van de huidige instellingen van de wereldmaatschappij,

het functioneren van zijn formele en informele machts-structuren, het verstrekken van kapitaal dat nodig is voor de noodzakelijke mondiale ontwikkelingen van de komende decennia, evenals de onderwijsbehoeften van de wereldbevolking, dit alles in relatie tot een harmonieuze evolutie van het hele menselijke systeem, gebaseerd op gelijkheid, evenwicht en kwaliteit.

Als onderdeel van deze veelzijdige aanval op de wereldproblematiek is de plaats van wetenschap en technologie van bijzonder belang. Toen we Dennis Gabor en Umberto Colombo oorspronkelijk uitnodigden om een groep geleerden en wetenschappers samen te brengen -'technologische optimisten', zoals we ze destijds noemden- om vast te stellen hoe en waar nieuwe onderzoeks- en ontwikkelingsinspanningen moesten worden opgezet om de problemen van voedsel, materialen en energie aan te pakken, dachten we te eng, in termen van de bijdrage van wetenschap en technologie aan het overwinnen van de beperkingen op groei. Ik was daarom bijzonder geïnteresseerd en verheugd om te zien hoe, naarmate het onderzoek vorderde, de auteurs zich steeds meer bewust zijn geworden van de economische, sociale en politieke concomitanten (begeleiders) van wetenschappelijk onderzoek en technologische ontwikkeling. De titel, **Beyond the Age of Waste**, beschrijft naar mijn mening de geest van het boek nauwkeurig. Verspilling als zodanig wordt weliswaar slechts af en toe genoemd, maar toch doordringt het op de een of andere manier de hele kwestie; maar het concept verspilling belichaamt de hele problematiek van wetenschap en technologie ten behoeve van de menselijke verbetering, met de verstrengelde verbanden tussen voedsel, landbouw, materialen, energie en menselijke motivatie, die de tekst identificeert. In elke te verwachten goed bestuurde samenleving zullen onderzoek en ontwikkeling zich moeten richten op het optimaal gebruik van de biofysische hulpbronnen van de planeet, zowel hernieuwbaar als niet-hernieuwbaar, van energie, financiële middelen en, bovenal, menselijke hulpbronnen. Niet alleen vormt de verspillende werking van de economie een bedreiging voor toekomstige generaties, maar de daadwerkelijke verspilling van menselijke hulpbronnen, door werkloosheid, onderbezetting, ziekte, ondervoeding en oncreatief repetitief werk dat het individu geen voldoening schenkt, is in de huidige context al tragisch en zou nog verder kunnen verergeren met de grote golf van nieuwe bevolking die op komst is.

Ondanks dit alles blijven wetenschap en technologie nog steeds de grote hoop voor verbetering van het menselijk lot. Het is om deze reden dat ik het grootste genoegen heb dit boek aan een breed lezerspubliek aan te bevelen, omdat het een aantal nuttige aanwijzingen geeft over waar de mogelijkheden en

behoeften liggen en hoe deze kunnen worden samengebracht door middel van een multidisciplinaire aanpak.

In het bijzonder wil ik namens de Club van Rome de auteurs van het boek bedanken. Dennis Gabor was zeer geïnteresseerd en deed zijn uiterste best om de richting van het onderzoek vorm te geven en samen met Umberto Colombo de briljante groep experts die eraan deelnam, voor te zitten. Alexander King gaf onschatbare inzichten over veel kwesties en een alomvattend beeld van de rol van wetenschap en wetenschapsbeleid in onze tijd. Riccardo Galli nam samen met Umberto Colombo de zware last op zich om ongelijksoortige elementen te correleren en de definitieve tekst te schrijven. Mijn grootste waardering gaat ook uit naar de vele wetenschappers die zo creatief hebben deelgenomen aan de verschillende bijeenkomsten van de groep of die tijd hebben vrijgemaakt voor individuele discussies en correspondentie. Tot slot wil ik de Club van Rome hartelijk bedanken en het Canadese Ministerie van Wetenschap en Technologie, wiens genereuze bijdrage het project mogelijk heeft gemaakt.

AURELIO PECCEI

# Voorwoord door DENNIS GABOR en UMBERTO COLOMBO

ln het debat na de publicatie van *The Limits to Growth* was een van de terugkerende kritieken dat het model de effecten van wetenschap en technologie had verwaarloosd. Er werd betoogd dat deze, als ze op de juiste manier zouden worden gestimuleerd, zouden helpen het probleem van de schaarste aan natuurlijke hulpbronnen op te lossen. Toch zijn sommige van de kritieke problemen waarmee we vandaag worden geconfronteerd, ernstiger geworden ondanks wetenschap en technologie. Vooruitgang op het gebied van technologie en hygiëne heeft het menselijk leven verlengd en de groei van de wereldbevolking zodanig versneld dat deze in de komende 30 of 40 jaar wel eens kan verdubbelen. Meer dan de helft van de huidige wereldbevolking heeft alleen de eerste levensbehoeften, en veel mensen leven bijna permanent op de rand van de hongerdood.

Het probleem om deze situatie recht te zetten wordt verergerd door de verwachte bevolkingsgroei en door de ongelijke verdeling van natuurlijke hulpbronnen over de wereld. Deze situatie wordt duidelijk aangetoond in het tweede rapport van de Club van Rome, *Mankind at the Turning Point,* waar wordt gepleit voor een meer harmonieuze "organische" groei in plaats van de huidige ongecontroleerde groei. "Nulgroei" wordt door sommigen voorgesteld als een essentieel doel. Dit doel komt als reactie op het plotselinge besef dat we op een eindige aarde leven. Vanwege de aard van het bestaande economische systeem kan nulgroei echter niet worden beschouwd als een haalbare doelstelling voor de nabije toekomst.

Begin 1973 vroeg het Uitvoerend Comité van de Club van Rome een kleine groep Clubleden, wiens activiteiten op wetenschappelijk en technologisch gebied lagen, om te beoordelen of de natuurlijke hulpbronnen van onze planeet, in termen van energie, materialen en voedsel, voldoende zouden zijn om een groeiende bevolking in stand te houden en in de komende eeuwen in haar basisbehoeften te voorzien.

De specifieke taak die aan onze groep was toegewezen, was het identificeren van gebieden waar vooruitgang van wetenschap en technologie het vermogen van de mensheid om natuurlijke hulpbronnen te exploiteren en te regenereren kan vergroten om een bevredigende levensstandaard voor de mensen van de wereld te behouden.

Onze groep realiseerde zich onmiddellijk dat haar leden niet het brede scala aan kennis en competentie bestreken dat nodig is voor het uitvoeren van de

studie. Daarom hebben we besloten een werkgroep op te richten met daarin een aantal specialisten op gebieden die niet worden vertegenwoordigd door de leden van de Club van Rome. De werkgroep kwam drie keer bijeen: in Rome, Tokio en Milaan. Er werden ook verschillende andere vergaderingen gehouden over specifieke problemen en gebieden. Elk lid van de werkgroep leverde aantekeningen of opmerkingen over het concept van de lopende werkzaamheden Met de hulp van dr. **Alexander King** en **Riccardo Galli,** de laatste als wetenschappelijk secretaris van de werkgroep, hebben we de verschillende bijdragen verzameld om de door alle leden gepresenteerde aspecten in het juiste perspectief te plaatsen. Wij vieren nemen gezamenlijk de verantwoordelijkheid voor eventuele fouten en onvolkomenheden in het rapport.

De figuren en tabellen zijn voornamelijk ontleend aan bekende wetenschappelijke literatuur. Dergelijke gegevens worden gepresenteerd om niet-gespecialiseerde lezers een idee te geven van de omvang van de besproken problemen.

We realiseren ons dat dit rapport geen volledig antwoord geeft op alle gestelde vragen. Binnen een politiek kader moeten we de onderwerpen in relatie tot elkaar zien. Daardoor hebben we meer vragen gesteld dan we kunnen beantwoorden. We hopen echter dat ons werk een katalysator zal zijn bij het stimuleren van andere studies, met name door de jongere generatie wetenschappers en technologen.

De studie heeft de noodzaak aangetoond van veranderingen in het institutionele beleid om onderzoek en ontwikkeling effectief te laten groeien en toepassen. Dit zijn fundamentele overwegingen, die veel verder gaan dan wetenschap en technologie. Uit ons onderzoek erkennen we de noodzaak om institutionele implicaties verder te analyseren. Het perspectief en de diepgang van de taak vallen buiten de bevoegdheid van onze werkgroep.

We willen alle leden van de werkgroep bedanken voor hun bijdrage aan de totstandkoming van dit rapport, de Accademia Nazionale dei Lincei, de Japan Techno-Economics Society, het Japans Comité van de Club van Rome en de Fondazione Carlo Erba voor de gastvrijheid die zij ter gelegenheid van de vergaderingen van Rome, Tokio en Milaan welwillend gaven aan de leden van de Groep.

**DENNIS GABOR** en **UMBERTO COLOMBO** (Vice-voorzitter van "the Working Party")

# *Inhoud* xiii-xiv


Voorwoord door Aurelio Peccei v-ix
Voorwoord door Dennis Gabor i-ii
Leden van de werkgroep xv-xviii
1. INLEIDING 1
2. ENERGIE 6
2.1. Inleidende opmerkingen 6
2.2. Energievraag en energiebesparing 11
2.3. Energiebronnen 26
2.3.1. fossiele brandstoffen 26
2.3.2. Niet-fossiele energiebronnen 42
(Kernsplijting, kernfusie, zonne-energie,
geothermische energie, waterkracht,
organische materialen en afval,
brandhout en andere traditionele energiebronnen,
niet-conventionele energiebronnen)
2.4. Secundaire energiesystemen 80
2.4.1. Elektrische stroom 81
2.4.2. Het waterstof-energie-systeem 84
2.4.3. Synthetische koolwaterstoffen 88
2.4.4. Energie voor transport 89
2.5. Regionale implicaties van het energieprobleem 93
2.6. Conclusies en aanbevelingen over energie 96
3. MATERIALEN 102

3. 1. Inleidende opmerkingen 102
3.2. De voorraad van materialen 110
3.2.1. Reserves en natuurlijke hulpbronnen 118
3.2.2. Mineralen uit de zee 125
3.2.3. schaarse elementen 128
3.2.4. Onderzoek naar materiaalvoorraad 131
3.3. De levenscyclus van materialen 135
3.4. Materiaaltechnologie 14
3.4.1. Materiaalconversie en de behoefte aan bronnen 141

3.4.2. Het belang van design en van materiaal selectie 145
3.4.3. Implicaties voor beleid en actie 148
3.5 Conclusies en aanbevelingen over materialen 149

4.0 VOEDSEL 152
4.1 Inleidende opmerkingen 152
4.2 Voedselproductie en agrarische hulpbronnen 170
4.3 Landbouwgrondstoffen 193
4.4 Conclusies en aanbevelingen over voeding 202
5. KLIMAAT 205
6. ENKELE GLOBALE OVERWEGINGEN 212
Het probleem van afval 212
Het debat over fysieke limieten 214
Voorgestelde studies 217
7. WETENSCHAP, TECHNOLOGIE EN INSTITUTIONELE IMPLICATIES 219
De behoefte aan innovatie in de procedures en structuren van de overheid 220
Het formuleren van nationale doelen 221
De verantwoordelijkheden van wetenschappers 222
De behoefte aan geïntegreerde planning 223
Technologiebeoordeling en prognoses 224
De korte termijn versus de lange termijn 225
Structurele problemen 226
Het probleem van de consensus van de publieke opinie 227
De noodzaak van beleidsonderzoek 229
Technologie in een kader van onderlinge afhankelijkheid. De benadering van mondiaal beleid 230

Index 233

# *Members of the Working Party*

(F) J. P BHATTACHARJEE

Policy Analysis Division
FAO
Roma. llaly

(SP, *) Frits BöTTCHER

Science Policy Council of the
Netherlands The Hague, The
Netherlands

(M) Johan W. BRINCK

International Resources Consultants
Alkmaar, The Netherlands

(SP. *) Adriano BUZZATI-TRAVERSO
Roma, ltaly

(SP, M, *) Umberto COLOMBO (Co-Chairman)
Research and Development Division
Montedison
Milano, ltaly

(E) Giancarlo E. F ACC A

Geologist
Lafayette, Calif. U.S.A

(E, M, *) Dennis GABOR Chairman)
Imperial College or Science and Technology
Department of Electrical Engineering London, U.K.

(M) Riccardo GALLI (Secretary)

Research and Development Division
Montedison
Milano, ltaly

---

SP = expert (science policy)

E = expert (energy)
M = expert (materials)

F = expert (food)
C = expert (climate)
* = member of the club of Rome

## *Members of the Working Party*

(E) Derek P.GREGORY
Institute of Gas Technology
Chicago, ILL., U.S.A.

(F, *) Maurice GUERNIER
Paris, France

(F) J. R. JENSMA
A. R. Zwaan Voorburg,
'The Netherlands

(SP,*) Alexander KING
International Federation of lnstitutes for Advanced Study
Paris, France

(C) H.H. LAMB
University of East Anglia Norwich, U.K.

(E) Henry R. LINDEN
Institute of Gas Technology Chicago. ILL.,

(M) U.S.A. Vincent E. MC. KELVEY U.S. Geological
Survey Washington (D,C,), U,S.A,

(F) William MEBANE
Research and development Division
Montedison Milano. ltaly

(E) Aden B. MEINEL
Optical Sciences Center University of Arizona
Tucson, Arizona, U.S.A.

(SP,*) Sam NILSSON
International Federation of lnstitutes for Advanced Study
Stockholm, Sweden

(E) Peter R. ODELL
Economisch-Geografisch Instituut Erasmus
Universiteit Rotterdam,
Rotterdam, The Netherlands

(SP, E, *) Keichi OSHIMA
OECD, Directorate for Science,
Technology and Industry Paris, France

## *Members of the Working Party*

(F) Walter H. PAWLEY
FAO Roma. Italy

(E, M, *) Eduard PESTEL
Institut fur Mechanik Technische Universitat Hannover
Hannover. Germany

(M) H. J. PICK
Department of Mechanical Engineering The University of Aston
Birmingham, U.K.

(F) N.W. PIRLE
Rothamsted Experimental Station
Harpendon, U.K.

(SP, E) Robert W. PREHODA
North Hollywood, California, U.S.A.

(E) Emilio Segrè
Instituto di Fisica "Guglielmo
Marconi" Roma, Italy

(E. *) Manfred SIEBKER
S.C.I.E.N.C.E.
Brussels, Belgium

(M) Yutalca SUZUKY
Facully of Engineering Osaka University
Osaka Japan

(P) Toao TAMAI
Tokyo Agricultural College Tokyo,
Japan

(SP,*) Hugo THIEMANN
Nestle Alimentana Vevey,
Switzerland

(SP,*) Dan TOLKOWSKY
Discount Bank Investment Corp. Ltd.
Tel Aviv, Israel

(SP, *) Victor URQUIDI
El Colegio de Mexico
Mexico, D.F., Mexico

(E) Alvin M. WEINBERG
Federal Energy Office
Washington, D.C., U.SA.

## *Members of the Working Party*

(SP,*) J, R. WHITEHEAD
Ministry of State for Science and Technology Ottawa, Canada

(SP, E. * ) Carroll WILSON
Massachusetts Institute of Technology Cambridge, Mass., U.S.A.

(E) G. B. ZORZOLI
CISE Milano, Italy

# 1. Inleiding

De wereld bevindt zich in een nieuwe en kritieke fase. Eeuwenlang hebben hongersnoden, epidemieën en oorlogen slechts een langzame groei van de wereldbevolking mogelijk gemaakt. Nu, dankzij de prestaties van wetenschap, technologie en aanverwante economische ontwikkeling, wordt verwacht dat de wereldbevolking in ongeveer 30-40 jaar zal verdubbelen. Deze verdubbeling, die samenhangt met de stijging van de gemiddelde leeftijd van de wereldbevolking, is waarschijnlijk onvermijdelijk. De landen waar de bevolkingsgroei het grootst is, zijn er sociaal niet op voorbereid. We kunnen niettemin hopen dat respect voor de waardigheid van het menselijk leven en het verlangen naar sociale vooruitgang een afname van de bevolkingsgroei in alle landen zal stimuleren.

Hoe komt het dat de ernst van de problemen in verband met de toereikendheid van natuurlijke hulpbronnen pas de laatste jaren worden gewaardeerd? Er zijn veel onderzoeken en rapporten die mensen op deze problemen hadden moeten wijzen, hoewel ze de problemen misschien niet in mondiale termen hadden genoemd. Ze omvatten *Resources for Freedom* (1952) en recenter *Resources and Man* (1969). Deze studies hebben voornamelijk in de gespecialiseerde wereld van technologen, wetenschappers, economen en, in beperkte mate, politici gecirculeerd, zonder door te dringen tot andere lagen van de publieke opinie. In 1972 verscheen het rapport *The Limits to Growth*, gericht op de mondiale publieke opinie. Het is samengesteld door een groep wetenschappers uit verschillende disciplines die onorthodoxe methoden en, soms, onvermijdelijk ontoereikende gegevens gebruikten. De invloed die deze publicatie had op het wekken van publieke belangstelling voor problemen van de toekomst ging de verwachtingen van de auteurs ver te boven. Het besef dat we op een eindige planeet leven met beperkte hulpbronnen wint nu terrein bij de meeste mensen die erover hebben nagedacht.

Onze op de consument gerichte industriële samenleving heeft op onverantwoorde wijze de niet-hernieuwbare en gemakkelijk toegankelijke minerale hulpbronnen van de wereld uitgebuit. Het heeft enorme stukken land vernietigd die ooit vruchtbaar waren. Op veel plaatsen hebben we het leven in gevaar gebracht en gedood door vervuiling van lucht en water.

* Grondstoffen voor vrijheid (1952)
Grondstoffen en mens (1969)

Over de hele wereld worden enorme hoeveelheden middelen gebruikt voor militaire doeleinden, en een aanzienlijk deel wordt vernietigd in oorlogen. De omvang van de wereldwijde militaire industrie werd onlangs geschat op ongeveer $ 500 miljard per jaar. Dit bedrag is ongeveer het dubbele van het bedrag dat alle regeringen aan onderwijs besteden en ongeveer drie keer zoveel als wat ze aan gezondheid besteden. De strijd om het zogenaamde "wapenevenwicht" dat een hoofdkenmerk is van het politieke evenwicht van de grote mogendheden, vereist een voortdurende zoektocht naar meer geavanceerde militaire uitrusting. Dit creëert een mechanisme voor de geplande veroudering van wapens, vergelijkbaar met het industriebeleid ten aanzien van consumptiegoederen..

De groei van de wereldbevolking is een bedreiging voor de kwaliteit van leven en een gevaar voor het wereldevenwicht, maar we zijn niet bij machte om deze snel te stoppen. Groei in materiële goederen is noodzakelijk voor het deel van de wereldbevolking dat in een onzekere marge leeft. Maar de groei in de ontwikkelde landen in het huidige tempo, gepaard gaande met verspilling van energie en materialen, ongeordende groei van stedelijke regio's, vervreemding en desillusie, kan en hoeft niet in het oude patroon door te gaan. Dat kan niet zo doorgaan, want de hulpbronnen van de aarde zijn weliswaar nog lang niet uitgeput, maar wel beperkt. Toch voelen veel economen en staatslieden zich verplicht om te pleiten voor onbeperkte groei, omdat ze geen andere manier zien om de sociale vrede te handhaven.

Een pijnlijke groeionderbreking is veroorzaakt door de crisis van olie en grondstoffen. De verandering is een aantal landen opgedrongen, waaronder de sterk geïndustrialiseerde landen, en vormt een ernstig gevaar voor de sociale vrede. Zelfs als we deze crisis overwinnen door intensieve inspanningen op het gebied van onderzoek en ontwikkeling, moeten we voorkomen dat we terugkeren naar de oude trend, die opnieuw tot een catastrofe zou leiden. We moeten inderdaad onze creativiteit gebruiken om sociale voorwaarden te scheppen voor een volwassen samenleving, die niet langer wordt gekenmerkt door afhankelijkheid van een groeiend verbruik van hulpbronnen. De nieuwe samenleving moet zorgen voor een voortdurende verbetering van de kwaliteit van het leven, met harmonie tussen mensen van verschillende culturen, sociale klassen, tussen individuen en zelfs binnen het individu zelf.

Een 'evenwichtige' samenleving moet een bevredigende levensstandaard bieden in materiële zin zonder de levenskwaliteit in gevaar te brengen. Het resultaat en de ontwikkeling van deze samenleving moeten worden gegarandeerd door een economische structuur die op een meer verantwoorde manier natuurlijke hulpbronnen exploiteert

en dus in harmonie is met de natuur. De trend moet daarom zijn in de richting van een economie die, waar mogelijk, gebaseerd is op praktisch onuitputtelijke bronnen van energie, op het gebruik van algemeen beschikbare of hernieuwbare grondstoffen, op herhaalde recycling van schaarse materialen, op een verantwoord beheer van voedselbronnen en op milieukwaliteit, en op lage energie-intensieve en lage materiaal-intensieve technologieën.

Om deze doelstellingen te bereiken, moeten de instellingen op nationaal en internationaal niveau grondig worden hervormd. Leefstijl, onderwijs en arbeidsomstandigheden moeten worden aangepast en op de lange termijn moet de waardenschaal van de samenleving worden getransformeerd.

Het grootste probleem betreft de overgangsperiode. Het is essentieel om traumatische verschijnselen te vermijden terwijl de samenleving overgaat van continue en ongereguleerde groei naar een staat van evenwicht. Om een zeer verontrustende transformatie van instellingen, economie en industriële structuren te voorkomen, is het noodzakelijk om de kritieke toekomstige problemen van de mensheid op tijd het hoofd te bieden.

De mensheid kan deze veelvoudige problemen niet oplossen zonder de gebrekkige prestatie van het besluitvormingsmechanisme van de samenleving te corrigeren. Het bestaan van dit probleem is zelf te wijten aan het falen van de mens om een besluitvormingsmechanisme te ontwikkelen dat past bij het technologische tijdperk, en dit suggereert op zijn beurt dat we de redenen die aan dit falen ten grondslag liggen moeten bestuderen.

De belangrijkste hulpbronnen hebben betrekking op voedsel, energie en grondstoffen; de problemen die hun aanbod beinvloeden, hangen met elkaar samen. Er lijkt een optimistische verwachting te bestaan dat deze problemen kunnen worden opgelost binnen het bestaande kader van marketing-economie en -technologie, maar dit kan zeker niet het geval zijn.

Wetenschap en technologie zijn instrumenten van onschatbare waarde om de ernstige problemen die worden veroorzaakt door de beperkte beschikbaarheid van middelen het hoofd te bieden en op te lossen. Men moet echter erkennen dat de huidige machinerie van het economische systeem de snelle aanpak van bepaalde ernstige en urgente problemen in de weg staat. De ernstige energiecrisis, veroorzaakt door de toenemende oliebehoefte van de meer ontwikkelde landen, is nu bijvoorbeeld aangebroken, maar tot 1973 vormde de overvloed aan goedkope olie geen aanleiding om alternatieve energiebronnen te onderzoeken. In feite werd het probleem praktisch verwaarloosd. Dientengevolge, studies en onderzoekswerk die ons in staat zouden hebben gesteld om de energie crisis eerder het hoofd te bieden

op een minder kritiek moment, werd niet vroeg genoeg ondernomen.

Het probleem wordt mede bemoeilijkt door het tijdsverloop tussen de start van een onderzoeksproject en de toepassing van de resultaten op grote schaal. Dergelijke vertragingen zijn inherent aan de aard van wetenschappelijk onderzoek en technologische ontwikkeling, een feit dat niet voldoende wordt gewaardeerd door politici, zelfs niet door degenen die verantwoordelijk zijn voor het nationale wetenschapsbeleid. De benodigde tijd wordt ook aanzienlijk verlengd vanwege bestuurlijke en institutionele redenen, en ook, in een groeiend aantal gevallen, als gevolg van maatschappelijke weerstand.

Problemen in verband met de eindigheid van natuurlijke hulpbronnen zijn internationaal. Hun oplossing vereist fundamentele erkenning dat de regio's van de wereld sterk onderling afhankelijk zijn geworden en moeten worden behandeld als componenten van een enkel systeem. Helaas ontbreekt het de huidige politieke structuren aan adequate besluitvormingsmechanismen en institutionele kaders voor het beheer van mondiale problemen en hun complexe relaties binnen het wereldsysteem. Dit verklaart ook de moeilijkheden bij het opzetten en uitvoeren van grote internationale samenwerkingsinspanningen op het gebied van wetenschap en technologie.

Groepen individuen worden zich steeds meer bewust van wereldproblemen en van de dringende noodzaak om deze het hoofd te bieden. Onder dergelijke groepen hebben de wetenschappelijke en technische gemeenschappen een bijzonder belangrijke verantwoordelijkheid. We hopen dat dit rapport hen zal helpen bij het identificeren van prioritaire onderzoeksgebieden die voortvloeien uit een globale visie op de problemen van de mensheid.

We hopen ook dat het grote publiek, en beleidsmakers in het bijzonder, dit rapport nuttig zal vinden bij het verkrijgen van een algemeen beeld van de wetenschappelijke en technische problemen in verband met de beschikbaarheid van natuurlijke hulpbronnen en van hun niet-technische implicaties.

De Werkgroep heeft een analyse gegeven van de huidige situatie en een beoordeling van de prognoses voor de drie belangrijkste hulpbronnensectoren: energie, materialen en voedsel. Waar dit van belang was, werd verwezen naar het probleem van basishulpbronnen als water en land. Een korte analyse van de langetermijneffecten van de exploitatie van natuurlijke hulpbronnen op het klimaat maakt ook deel uit van het onderzoek, omdat het behoud van bevredigende klimatologische omstandigheden een voorwaarde is voor voortbestaan en menselijke activiteit. De Werkgroep heeft geprobeerd enkele van de meer kritieke problemen te identificeren die vragen om onderzoeks- en ontwikkelingsacties en om

politiek-economische maatregelen die dringend en met grote vastberadenheid moeten worden genomen.

De complexiteit van de problemen, en in sommige gevallen het gebrek aan betrouwbare informatie, heeft de verwerking van voorstellen tot een moeilijke taak gemaakt. De Groep heeft er daarom voor gekozen om enkele essentiële beleidslijnen aan te geven. Het somt ook enkele zaken op die een vollediger onderzoek van de feiten en prognoses vereisen. Er worden verschillende urgentieniveaus onderscheiden naar het moment waarop de doelstellingen moeten zijn bereikt.

De conclusie over de situatie en de vooruitzichten op het gebied van energie, materialen en voedsel zijn gemakshalve in aparte hoofdstukken weergegeven. Deze hangen natuurlijk nauw met elkaar samen. Voor een industriële beschaving is overvloedige energie de sleutel tot voedsel en grondstoffen, en een sociale wil om de levenskwaliteit te handhaven en te verbeteren is de sleutel tot het hele probleem.

# 2. Energie

## 2.1. Inleidende opmerkingen

Energie is een essentieel onderdeel van bijna alle menselijke activiteiten. De hoeveelheid goederen en diensten die voor de mensheid beschikbaar is, is vooral een functie van de beschikbaarheid en het gebruik van energie.

Het debat over energie wordt vaak bemoeilijkt door de ambiguïteit die het gevolg is van oneigenlijk gebruik van termen als "productie" of "consumptie" van energie, of door het verkeerd vergelijken van verschillende vormen van energie. Het is een fundamentele wetenschappelijke waarheid dat energie in een gesloten systeem behouden blijft. Hiermee bedoelen we dat een operatie geen energie kan creëren, maar alleen kan transformeren. Zo zet het verbranden van benzine in een auto chemische energie om in mechanische energie. Praktisch gezien zijn echter niet alle energievormen even waardevol: 1 kWh elektrische energie in een huishoudelijk stopcontact heeft een andere graad van nuttigheid dan een vergelijkbare hoeveelheid die door de zon op een dak wordt afgezet.We zien dus dat de aard en de kwaliteit van energie even belangrijk zijn als de kwantiteit ervan. De kwaliteit varieert sterk en kan worden gewijzigd. Wanneer men spreekt van energie-productie of -verbruik, dan bedoelt men veranderingen in de energiekwaliteit.

De natuurkunde heeft criteria en middelen om de energiekwaliteit te meten, maar de praktische en economisch belangrijke criteria worden bepaald door energieverbruikers. Een uitdrukking als "energieverbruik" betekent dus kwaliteitsvermindering van een vaste energiehoeveelheid van een economisch waardevolle vorm naar een vorm zonder waarde en "efficiëntie" beschrijft welk deel van de totale energie bruikbaar is voor een gewenst doel.

Het spectrum van primaire energiebronnen die nu in gebruik zijn, wordt weergegeven in figuur 1. Momenteel wordt meer dan 90% van de wereldenergie geleverd door fossiele brandstoffen, terwijl waterkracht, kernenergie en geothermische energie een ondergeschikte rol spelen.

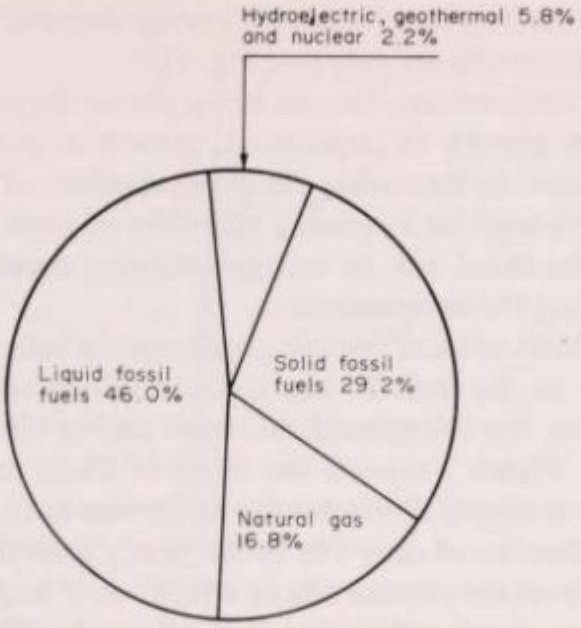



Fig. 1. World energy consumption by source (1978).

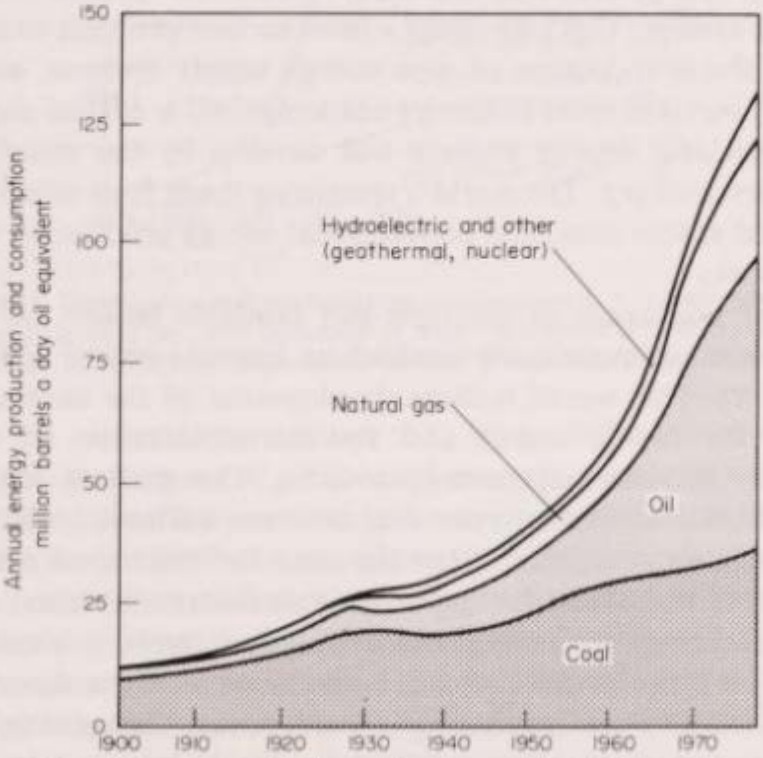



Fig. 2. Energy production and consumption of the world.
(Source: *Energy : Global Prospects*, New York, 1977.)

In de afgelopen 30 jaar is de wereldvraag naar energie met gemiddeld 5% per jaar gestegen (zie figuur 2).
Verschillende bijkomende factoren zorgen voor een aanhoudende toename van het energieverbruik: de groei van de bevolking, de groei van het energieverbruik per hoofd van de bevolking dat wordt gebruikt om de levensstandaard van de armere bevolkingsgroepen te verbeteren, de behoefte van de landbouw aan steeds grotere hoeveelheden zoet water en meststoffen, en het toegenomen gebruik van energie-intensieve maatregelen ter bescherming en herstel van het milieu.

Op basis van deze factoren denken sommige experts dat de komende 20 jaar hetzelfde tarief zal gelden. Anderen voorspellen een wat lager groeitempo als gevolg van regionale tekorten en de hogere totale prijs van energie. Figuur 3 geeft het bereik van waarschijnlijke trends in energieverbruik weer. Het illustreert duidelijk het verschil in de vraag naar energie dat voortvloeit uit een daling van slechts 1% van de jaarlijkse groei in de komende 20 jaar, van de huidige 5% naar 4%. Zelfs als er grote energiebesparingen mogelijk zijn, moeten we ons realiseren dat het uiterst moeilijk is om de groei van de vraag naar energie te beperken, vooral binnen ons huidige sociale en economische systeem. Dit vormt een zeer ernstig probleem voor de mensheid. Zonder de introductie van nieuwe energievoorzieningssystemen, en door de verwachte toename van het energieverbruik zal tegen het midden van de eenentwintigste eeuw (rond het jaar 2050) een kritiek tekort aan alle conventionele energiebronnen ontstaan. De resterende fossiele brandstoffen in de wereld zullen tegen die tijd volledig worden verbruikt en de conventionele energieproductie zou over zijn hoogtepunt heen zijn.

Om te profiteren van de tijd die nog beschikbaar is voordat het tekort zich voordoet, moeten we onmiddellijk een intensieve onderzoeks- en ontwikkelingsinspanning opzetten. Dit omvat de ontwikkeling van de noodzakelijke technologieën voor energiebesparing en voor de exploitatie van nieuwe en potentieel onuitputtelijke energiebronnen. De geleidelijke vervanging van conventionele energiebronnen door nieuwe zal fossiele brandstoffen en goedkope uraniumbronnen besparen, de tijd voor hun uiteindelijke uitputting vertragen en fossiele brandstoffen behouden voor belangrijke niet-brandbare toepassingen.
Wanneer we het energieprobleem in mondiale termen beschouwen, is het duidelijk dat de mogelijke uiteindelijke oplossing enkele decennia zal worden uitgesteld, aangezien geen van de vier belangrijkste duurzame bronnen (kernsplijting met kweekreactor, kernfusie, zonne-energie, geothermische energie) dan beschikbaar zijn voor algemeen gebruik en sommige ervan ernstige problemen opleveren.

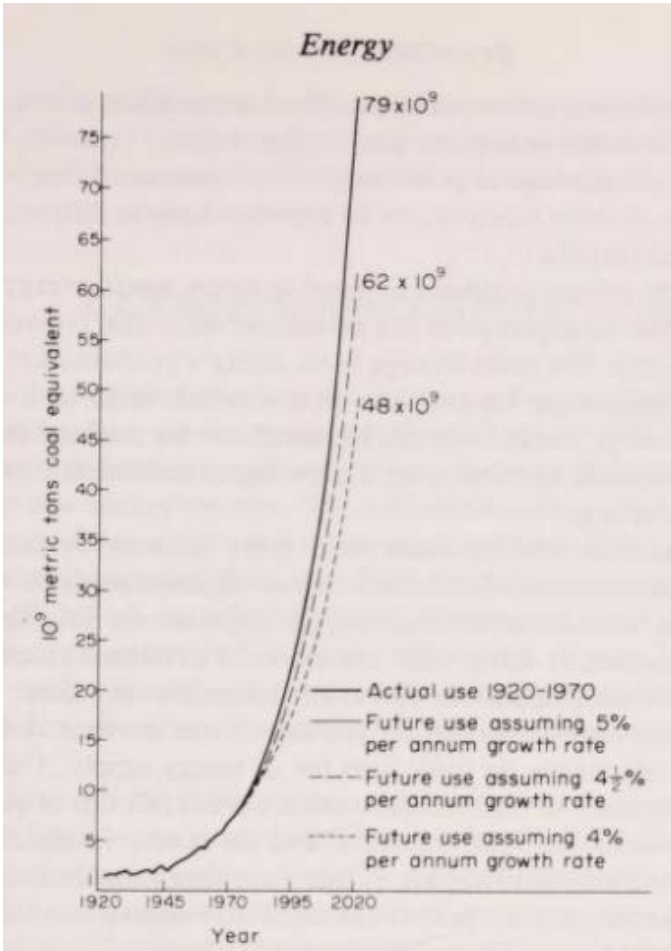



Fig. 3. Verwacht jaarlijks wereldenergieverbruik op 5, 4,5 en 4 %, jaarlijkse groei, met vermelding van de uiteindelijke behoefte in drie gevallen. (Uit: P. R. Odell, Energiebronnen en -behoeften, Macmillan, 1974)

Het moet nog worden aangetoond dat gecontroleerde kernfusie haalbaar is. De exploitatie van aardwarmte is momenteel zeer beperkt en plaatselijk. De kans dat het een belangrijke energiebron wordt, hangt af van de mogelijkheid om de warmte van de aardmantel te benutten. Dit is een probleem dat moet worden aangepakt. De exploitatie van zonne-energie in grootschalige toepassing voor de productie van elektriciteit of brandstoffen is momenteel economisch twijfelachtig en de beschikbaarheid ervan zou technologieën vereisen die nog grotendeels moeten worden ontwikkeld. Op basis van de huidige kennis is kernsplijting daarom de meest geavanceerde, duurzame energiebron. De belangrijkste kwestie is de maatschappelijke acceptatie ervan.

De inherente veiligheids- en beveiligingsproblemen zijn onderwerpen van aanzienlijke zorg. Met name met betrekking tot snelle kweek-reactoren zijn er nog steeds ernstige technologische problemen die overwonnen moeten worden. Bovendien kan een brede beschikbaar-heid van deze reactoren pas over 20 jaar worden verwacht als ze sociaal geaccepteerd worden.

Een van de kritieke problemen bij het voldoen aan de toekomstige energiebehoeften van de wereld is hoe de overgang van de huidige naar nieuwe energiesystemen kan worden gerealiseerd. We moeten overschakelen van de huidige overheersende en nog steeds groeiende afhankelijkheid van koolwaterstof-brandstoffen naar een ander patroon van energievraag met een grotere rol voor steenkool en kernenergie, hopelijk gevolgd door een groeiende bijdrage van zonne- en geothermische energie.

Deze overgang zal nog moeilijker worden door steeds strengere milieubeperkingen op conventionele methoden van energievoorziening en -gebruik. De energievoorziening hangt af van het vinden van techno-economische middelen om de essentiële onbeperkte hulpbronnen te gebruiken en het gebruik ervan in overeensteming te brengen met milieubeperkingen.

Tot voor kort waren de energieprijzen gedaald ten opzichte van andere prijzen. De dalende trend in de relatieve prijs van energie wordt nu gekeerd door de toenemende schaarste aan brandstoffen, de stijgende kosten van energie-conversie-installaties en tal van politieke overwegingen. Dit is niet geheel te betreuren, want hoewel energie goedkoop was, werd het onverantwoord verspild. Elke illusie van onbeperkte goedkope energie moet worden ontmoedigd, wil het probleem realistisch worden aangepakt.

Een van de meest kritische vragen in verband met het cruciale energieprobleem is welke sociaal-politieke en economische verplichtingen op lange termijn nodig zullen zijn voor de productie en distributie van energie onder veilige en ecologisch aanvaardbare omstandigheden. Het kan nodig zijn om een nieuw mondiaal beheersysteem op te zetten om het hoofd te bieden aan de mondiale energieproblemen (kapitaalinvesteringen, onderzoek en ontwikkeling, beveiliging en veiligheid). Over het geheel genomen brengen de bovengenoemde overwegingen sommige waarnemers ertoe te voorspellen dat er grenzen zijn aan de groei of het energieverbruik

Bovendien kunnen er definitieve milieugrenzen zijn aan de onbeperkte groei van het energieverbruik als gevolg van de opwarming van de lucht en het water - thermische verontreiniging - die onaanvaardbare klimatologische verstoringen, plaatselijk of algemeen, met zich mee zou brengen.

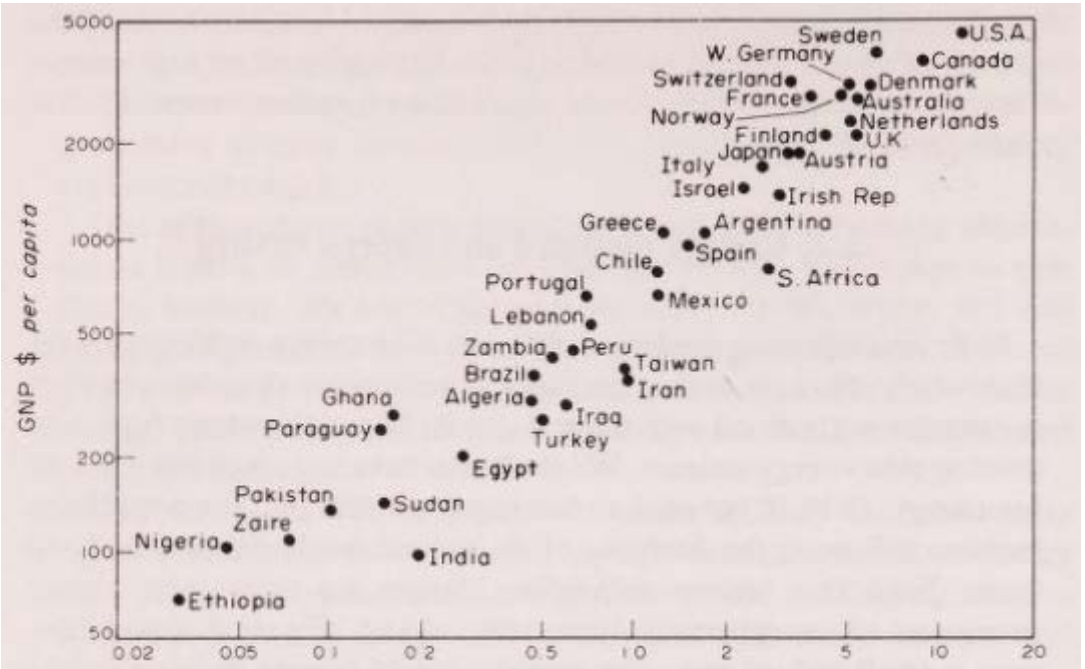
## 2.2. Energievraag en energiebesparing

In haar ontwikkeling heeft de moderne samenleving energie roekeloos gebruikt in plaats van verstandig. Nu we het energieprobleem het hoofd moeten bieden, zullen we het verbruik moeten verschuiven van olie en aardgas naar meer overvloedige brandstoffen en nieuwe energiebronnen moeten ontwikkelen. We zullen ook de vraag naar energie moeten verminderen. Zelfs als de consumptie per hoofd van de bevolking afvlakt, zal de bevolkingstoename de huidige wereldvraag in 30-40 jaar verdubbelen. Met dit ernstige dreigende gevaar moeten we energiebesparing als een buitengewoon belangrijk onderwerp behandelen. Figuur 3 laat zien hoe zelfs een kleine daling van het groeitempo van de energievraag op lange termijn leidt tot een aanzienlijke vermindering van de energiebehoefte.

De lage en dalende olieprijzen waarvan we lang hebben genoten, gaven geen aanleiding om verbeteringen in het gebruik van energie te bestuderen. Als gevolg hiervan is er vrijwel geen onderzoek gedaan in deze sector. Pas sinds kort is er aandacht voor energiebesparingsproblemen. Onderzoek en ontwikkeling kunnen dienen om verspilling en inefficiëntie te identificeren en te verminderen. Maar we kunnen alleen concrete resultaten behalen als wetenschappelijke en technologische aspecten worden geïntegreerd in het kader van een meer globaal beleid dat de herstructurering van economie en industrie bevordert, en als we ons meer bewust zijn van de waarde van energie dan we tot nu toe waren.

In westerse economieën mag beleid ter vermindering van de groei van de vraag naar energie niet leiden tot verminderde werkgelegenheid, wat andere maar even ernstige problemen zou veroorzaken. De mogelijke politiek-economische gevolgen voor de industriële structuur moeten dus worden overwogen voordat een energiebesparingsbeleid met succes kan worden toegepast. Energiebesparingsbeleid moet natuurlijk geschikt zijn voor verschillende sociaal-politieke omgevingen. Ze moeten variëren afhankelijk van de gegeven gebruiken, cultuur en economisch niveau van elk land.

Het energieverbruik *per hoofd van de bevolking* stijgt ruwweg in verhouding tot




Energieverbruik (metrische ton steenkoolequivalent per hoofd van de bevolking per jaar)

Fig.4. Relatie tussen BNP en energieverbruik per hoofd van de bevolking voor 52 landen (1970 gegevens). (Bron, H.R. Linden. Review of World Energy Supplies, 1973.)

het BNP van verschillende landen (Fig. 4). Slechts 23 van de 220 landen in de wereld hebben een consumptie per hoofd van de bevolking die hoger is dan het gemiddelde (1.56 toe, ton of oil equivalent): dit is een van de belangrijkste indicatoren voor de concentratie van rijkdom en economische macht in de wereld. Vooral de 24 OESO-landen zijn goed voor 55% van het wereldwijde energieverbruik, de VS alleen voor 28%, de EEG voor 14%, de U.S.S.R. voor 16.5% en Japan voor 5.5%. Een ander belangrijk voorbeeld van deze ongelijkheid wordt gegeven door het feit dat het energieverbruik per hoofd van de bevolking in de Volksrepubliek China 0,62 ton olie-equivalent bedraagt, minder dan 40% van het wereld-gemiddelde. Het energieverbruik per hoofd van de bevolking in de Verenigde Staten (8,6 toe) is meer dan het dubbele van dat van het Verenigd Koninkrijk en Frankrijk. Het betekent dus uiteraard niet dat de kwaliteit van leven in deze landen proportioneel wordt aangetast. Het zou nuttig zijn om een gedetailleerde en diepgaande analyse te maken van de correlatie tussen verschillende sociale indicatoren en het energieverbruik per hoofd van de bevolking, in een poging om vast te stellen wat een individu nodig heeft voor een aanvaardbare levenskwaliteit, een kwestie die nog steeds moeilijk te definiëren is. Het is

TABEL 1
ENERGIE CONSUMPTIE DOOR EINDGEBRUIK IN WESTERSE GEINDUSTRIALISEERDE REGIO'S, 1976

(miljoen ton olie equivalent)

OECD

| | Steenkool | Olie | Gas | Elec-triciteit | Totaal | % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Totaal eindverbruik | 232.4 | 1524.0 | 497.7 | 343.6 | 2597.7 | 100.0 |
| Industrie | 182.2 | 333.8 | 225.3 | 156.3 | 897.6 | 34.5 |
| Transport | 1.0 | 692.1 | 0.3 | 4.5 | 698.5 | 26.9 |
| Andere sectoren | 49.2 | 404.5 | 272.1 | 182.8 | 908.6 | 35.0 |
| Niet-energetisch gebruik | - | 93.0 | - | - | 93.0 | 3.6 |

UNITED STATES

| | Steenkool | Olie | Gas | Elec-triciteit | Totaal | % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Totaal eindverbruik | 81,2 | 713.0 | 333.2 | 165.8 | 1293.2 | 100.0 |
| Industrie | 68.4 | 84.7 | 143.6 | 61.3 | 358.0 | 27.7 |
| Transport | - | 425.5 | - | 0.3 | 425.8 | 32.9 |
| Andere sectoren | 6.4 | 161.5 | 189.6 | 104.2 | 461.7 | 35.7 |
| Niet-energetisch gebruik | 6.4 | 41.3 | - | - | 47.7 | 3.7 |

JAPAN

| | Steenkool | Olie | Gas | Elec-triciteit | total | **%** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Totaal eindverbruik | 38.7 | 159.9 | 7.9 | 38.8 | 245.3 | 100.0 |
| Industrie | 35,0 | 70.3 | 2.2 | 25.8 | 133.3 | 54.4 |
| Transport | - | 41.9 | - | 1.2 | 43.1 | 17.6 |
| Andere sectoren | 3. 7 | 40.3 | 5.7 | 11.8 | 61.5 | 25.0 |
| Niet-energetisch gebruik | - | 7.4 | - | - | 7.4 | 3.0 |

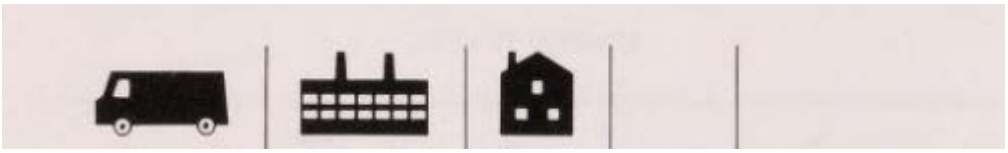
*(vervolg z.o.z.)*

TABEL 1(*vervolg*)

EEG

| | Steenkool | Olie | Gas | Elec-triciteit | Totaal | % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Totaal eindverbruik | 75.7 | 417.1 | 120.5 | 81 .1 | 694.4 | 100.0 |
| Industrie | 49.9 | 121.6 | 60.5 | 39.6 | 271.6 | 39.1 |
| Transport | 0.3 | 129.4 | 0.3 | 2.1 | 132.I | 19.0 |
| Andere sectoren | 25.5 | 137.1 | 59.7 | 39.4 | 261.7 | 37.7 |
| Niet-energetisch gebruik | - | 29.0 | - | - | 29.0 | 4.2 |

*Bron: Energiebalansen van OESO-landen 1974/1976.*



| Transport | Industrie | Huishoudelijk | Grondstof | Verwerkingsverlies (incl. internationale opslag) | |
|---|---|---|---|---|---|
| % 19.0 | 26.4 | 19.7 | 5.3 | 29.6 | =100.0 % |

Fig. 5. Energieverbruik per sector

(percentage, 1972, Wereld exclusief Comecon (=Oostbloklanden) en China.

*(Gegevens gebaseerd op Energy Globol Prosects.)*

het is echter in ieder geval duidelijk dat een hoge levenskwaliteit geen steeds toenemende consumptie per hoofd van de bevolking vereist.

Een ander belangrijk middel om een energiebesparingsbeleid te voeren, is de bevolking te wijzen op het energieprobleem. Dit kan worden gedaan door aan te dringen op indicatie van de energie-efficiëntie van de verschillende goederen en door reclame te controleren. In dit verband zouden consumentenbonden die een algemeen bewustzijn van het probleem bevorderen, zeer nuttig kunnen zijn. Het vermijden van energieverspilling zou een ethisch gebod moeten worden.

Onderzoek van gegevens over de verdeling van het energieverbruik (zie tabel 1 en figuur 5) kunnen helpen bij het identificeren van sectoren waar maatregelen ter vermindering van de vraag en verspilling wenselijk zouden zijn en waar wetenschap en technologie een effectieve rol kunnen spelen.

Benaderingen van energiebesparing kunnen in drie brede categorieën worden ingedeeld: (1) ontwikkeling van productieprocessen die minder energie verbruiken en vermindering van het gebruik van energie-intensieve materialen; (2) productie van eindproducten die minder energie vergen en een lagere verouderingsgraad hebben; (3) organisatie van systemen (zowel op productieniveau als op het meer algemene niveau van sociaal-economische systemen) die de energie die nodig is om bepaalde doelen te bereiken, tot een minimum zullen beperken. Meer algemeen gezien blijft het probleem bestaan van het heroriënteren van maatschappelijke doelen, zodat nieuwe keuzes en beslissingen worden genomen op basis van maatschappelijk gebruik en energiebesparing. Dit probleem omvat maar overstijgt veel meer het niveau van wetenschappelijk en technologisch beleid.

*Hoeveel energie kan er bespaard worden in de geïndustrialiseerde landen?*

Gezien het feit dat het energieverbruik per hoofd van de bevolking sinds 1960 in alle geïndustrialiseerde landen bijna is verdubbeld, zou men in de verleiding kunnen komen te denken dat een besparing van een derde tot de helft niet al te moeilijk zou moeten zijn. Het leven rond 1960 was tenslotte niet bepaald ondraaglijk. Maar door zo'n suggestie te doen, zouden we het psychologische proces onderschatten waardoor elke luxe, eenmaal verworven, een onherroepelijke noodzaak wordt. Elke vermindering van de levensstandaard wordt pijnlijk gevoeld en kwalijk genomen. En zelfs als de persoon die energie bespaart niet zou lijden of klagen, zouden de banen voor anderen wel eens beperkt kunnen worden door de eliminatie van verspillende of maatschappelijk nutteloze productie. Regeringen hebben daarom de plicht om serieus over deze problemen na te denken en passende maatregelen te nemen met gebruikmaking van regelgevende, economische en overtuigende instrumenten die gericht zijn op energiebesparing en het streven naar gelijke opofferingen tussen sociale klassen. Onderzoek en ontwikkeling spelen zeker een belangrijke rol bij het terugdringen van de vraag door een beter gebruik van energie, aangezien er veel ruimte is voor verbetering bij het ontwerpen van machines en processen in alle sectoren.

Energiebesparing in industriële processen is het onderdeel van het besparingsprogramma dat de voorzieningen van de burger het minst aantast. Het zal ook op de minste weerstand stuiten, omdat hogere energieprijzen niet alleen verspillende processen onrendabel maken, maar ook prikkels tot verbetering geven.

Energiebesparing in de industrie kan op vele manieren worden bereikt. Terugwinning van warmte, eliminatie van warmteverliezen, nieuwe verwarmingssystemen en in het algemeen betere praktijken op het gebied van energiebeheer kunnen in de meeste sectoren een besparing van 10-20% opleveren. Verdere besparingen kunnen worden bereikt door bestaande processen aan te passen

of door alternatieve te ontwikkelen door middel van nieuwe investeringen. De evaluatie van het investeringsrendement is natuurlijk de beslissende factor bij het nemen van nieuwe kansen of initiatieven.

Nog grotere energiebesparingen kunnen worden bereikt door het gebruik van gerecyclde in plaats van nieuwe materialen, door duurzamere producten te gebruiken, door de ontwikkeling van productiemethoden die verspilling van materialen verminderen (bijv. poedermetallurgie en kunststof-gieten versus machinale bewerking) en door vervanging van hoogwaardige energie-intensieve materialen met producten die minder energie nodig hebben voor hun productie. Meer in het algemeen kan men stellen dat het succes van een energiebesparingsbeleid voor een groot deel afhangt van de resultaten van acties gericht op materiaalbehoud. We komen op dit onderwerp terug in paragraaf 3.3 van het hoofdstuk "Materialen".

De voortdurende verbetering van de productiviteit van de landbouw in de ontwikkelde landen is grotendeels gebaseerd op het toenemende gebruik van energie-intensieve producten en diensten. Dit landbouwsysteem is vervolgens ook in ontwikkelingslanden ingevoerd, voornamelijk via de "Groene Revolutie"-technieken. De kwestie van energie en landbouw zal later in meer detail worden besproken in paragraaf 4.2. Het volstaat hier te zeggen dat substantiële energiebesparingen kunnen worden bereikt in de landbouwsector door een rationeler gebruik van chemische meststoffen, het vervangen van biologische door chemische bestrijdingsmiddelen en het verbeteren van alle andere stappen van de voedselcyclus (van het verzamelen van gewassen tot opslag en distributie), met speciale aandacht voor het energie-aspect van de problemen .

Een andere grootverbruiker van energie is de transportsector. Energiebesparing zou hier de burger directer raken, vooral in de Verenigde Staten, vanwege het lage rendement van Amerikaanse auto's. In de Verenigde Staten dekt het totale energieverbruik voor passagiersvervoer ongeveer 20% van het totale energiebudget van het land. Onderzoek en ontwikkeling in de transportsector is bijzonder belangrijk omdat de energie die daarbij betrokken is, grotendeels wordt gebruikt als brandstof uit aardolie. Energiebesparing in deze sector betekent dus vooral oliebesparing*. Toen de werkelijke prijs van benzine bleef dalen, werden wetenschap en technologie aangepakt om problemen op het gebied van snelheid en comfort op te lossen, waarbij weinig aandacht werd besteed aan het brandstofverbruik. Maar er zijn verbeteringen mogelijk in elk onderdeel van het auto-systeem om de verspilling van benzine te verminderen.* De auto-efficiëntie zou

* In paragraaf 2.4.4 wordt nader ingegaan op het onderwerp energie en transport.

aanzienlijk verbeterd kunnen zijn door een betere afstemming van de motor en transmissie op de belasting, door het terugwinnen van de energie die in de remmen wordt afgegeven, door de luchtweerstandscoëfficiënten te verminderen door een beter ontwerp, door een beter bandenophangingssysteem, door het gewicht te verminderen. De grote auto die vaak een enkele passagier vervoert, is een treffend voorbeeld van verspillende luxe.

Naast technische en economische aspecten moet rekening worden gehouden met de nauwe relatie tussen transport en landgebruik, met name met betrekking tot de locatie van stedelijke gebieden. De aanhoudende groei van woongemeenschappen, evenals van commerciële en industriële complexen in voorstedelijke regio's, heeft het openbaar vervoer onder druk gezet en de behoefte aan autoreizen vergroot. Controle over stedelijke en voorstedelijke ontwikkelingspatronen om geïntegreerde gemeenschappen te creëren, door wonen, werken en recreatie te combineren, kan helpen het brandstofverbruik te verminderen en uiteindelijk de sociale spanningen te verlichten.

De transportsector omvat een grote verscheidenheid aan openbare en particuliere systemen die een breed scala aan producten en diensten leveren. Er zijn enorme verschillen in de energie-efficiëntie van verschillende personen- en goederenvervoersystemen (zie tabellen 2 en 3). Een bestudering van deze cijfers geeft aan dat aanzienlijke energiebesparingen kunnen worden bereikt door het vervoer te richten op collectieve systemen, die over het algemeen minder energie-intensief zijn. Deze verschuiving kan worden gestimuleerd door politiek-economische maatregelen en ook door technische verbeteringen in de kwaliteit van het openbaar vervoer.

Het ontwerp van de verbrandingsmotor is lange tijd onveranderd gebleven. Vanuit technisch en technisch oogpunt bieden de diesel- en Stirlingmotoren, die efficiënter zijn dan de verbrandingsmotor met vonkontsteking, enige hoop. Op korte termijn worden echter geen grote vorderingen verwacht, omdat de verbeteringsinspanningen zo lang op zich laten wachten.

De andere grote energieverbruiker is de ***woon- en commerciële sector***. Hier is de belangrijkste toepassing van energie voor ruimteverwarming en -koeling. Tot nu toe heeft het architectonisch ontwerp niet alleen weinig gebruik gemaakt van de instroom van zonlicht, maar heeft ook de energiebesparende kant van de bouw verwaarloosd. Zo hebben we in de winter vaak grote warmteverliezen en in de zomer een te grote behoefte aan koeling. Er is bijvoorbeeld benadrukt dat grote zonnewarmte-winsten kunnen worden verkregen door

Tabel 2. Typisch energieverbruik per passagierskilometer van verschillende vormen van personenvervoer

| | Means of transport | Average speed | Average energy consumed | |
|---|---|---|---|---|
| | | km/h | kcal/p.km | p.m/U.S. gal. |
| | Walking | 4.8 | 50 | 400 |
| | Bicycle | 24 | 17 | 1175 |
| | Motorcycle | 60 | 280 | 70 |
| | **Automobiles** (nb. pas) | | | |
| mixed traffic town & country | subcompact EUR (1.6) | 65 | 350 | 57 |
| | compact EUR stand. (1.6) | 80 | 600 | 33 |
| | average (1.6) | 80 | 700 | 28 |
| | U.S. standard (1.6) | 80 | 850 | 24 |
| | Big American (1) | 100 | 2000 | 10 |
| | Diesel taxi (2.3) | 65 | 420 | 48 |
| | **Bus** (50% payload) (diesel) | | | |
| | City double-decker | 40 | 200 | 100 |
| | Coach | 100 | 150 | 130 |
| | **Rail** (50% payload) | | | |
| | Suburban electric | 90 | 200 | 100 |
| | Intercity diesel express | 140 | 280 | 72 |
| | Luxury gas-turbine express | 200 | 600 | 33 |
| | Tube | 35 | 200 | 100 |
| | Tram | 25 | 180 | 110 |
| | **Air** (50% payload) | | | |
| | Short stage | 900 | 1100 | 18 |
| | Long stage | 960 | 1000 | 20 |
| | U.S. average | 940 | 1200 | 16.6 |
| | Supersonic | 2500 | 2300 | 8.7 |
| | Helicopter | 160 | 3800 | 5.3 |

Geschat door: G. Bouladon, Institute Battelle, Genève, 1974

Tabel 3. Typisch energieverbruik per passagierskilometer van verschillende vormen van personenvervoer

| Means of transport | Average speed | Average energy consumed | |
|---|---|---|---|
| | km/h | kcal/t.km | t.mile/U.S. gal. |
| **Pipeline** | | | |
| Average size | 20 | 46 | 450 |
| **Water** | | | |
| Barge | 25 | 100 | 200 |
| Cargo vessel, tanker | 30 | 50 | 400 |
| Supertanker | 25 | 22.5 | 880 |
| **Road** (return empty) | | | |
| Petrol, deliveries | 75 | 1500 | 13 |
| 5 T diesel | 100 | 700 | 29 |
| 20 T diesel | 90 | 460 | 43 |
| 38 T (articulated) | 85 | 350 | 57 |
| Average all categories | | 600 | 33 |
| **Rail** (40% empty tracks) | | | |
| Light train (1000 T) | 130 | 220 | 91 |
| Train 3000 T (8000 hp) | 110 | 120 | 166 |
| Heavy train (15000 T) | 85 | 85 | 240 |
| U.S. average | | 115 | 175 |
| **Air** (80% payload) | | | |
| B 707, DC 8 | 900 | 5900 | 3.4 |
| Jumbo | 920 | 4200 | 4.8 |
| Average | | 4600 | 4.3 |

Geschat door: G. Bouladon, Institute Battelle, Genève, 1974

architectonische ramen. De instroom van zonne-energie via ramen vormt een zeer voordelige brandstofvrije energiebron voor aanvullende ruimteverwarming, en de kapitaalkosten die nodig zijn om ramen beter te maken dan geïsoleerde muren om energie te besparen, zijn niet hoog. Deze resultaten hebben een belangrijke invloed op toekomstige wetgevingscodes voor energiebesparing, waarvan sommige ernaar streven het glasoppervlak van gebouwen te beperken in de overtuiging dat daardoor energie zal worden bespaard.

De technologische remedies zijn bekend: betere isolatie, per kamer verwarmen, restwarmte van rookgassen terugwinnen bij gasverwarming (HR-ketel) en door gebruik te maken van warmtepompen. De kapitaalinvestering is aanzienlijk, maar naar schatting zou een van deze verbeteringen binnen tien jaar zijn vruchten afwerpen. De invoering van deze technologische verbeteringen zou kunnen worden gestimuleerd door belastingverminderingen of door staatsleningen met lage rente.

Er zijn drastische verbeteringen mogelijk in de energiebalans van gebouwen. Maar naast specifieke technische en technische onderwerpen is een betere kennis van het gedrag in termen van energie van alle componenten van het huis "systeem" vereist.

In veel gevallen kan energie worden bespaard door een interessant apparaat: de warmtepomp. Het is niets meer dan een koelkast met omgekeerde cyclus. Terwijl een koelkast een bepaald volume koelt door warmte af te voeren, haalt een warmtepomp warmte uit een tank met een lagere temperatuur en gebruikt deze om elders een hogere temperatuur te produceren. Het pompsysteem bevat een compressor voor het verplaatsen van een vloeistof die warmtetransport mogelijk maakt.

De warmtepomp is aantrekkelijk omdat de energie die nodig is om de pomp te laten werken kleiner is dan de nuttige energie die wordt overgedragen van de tank met lage temperatuur naar het gebied met hogere temperatuur. Toch is het rendement van de warmtepomp, de verhouding tussen gegenereerde warmte en verrichte arbeid, in het ideale geval gelijk aan het omgekeerde van de output van de Carnot-cyclus, werkend binnen hetzelfde temperatuurbereik $T_1$ en $T_2$ .

Als gevolg hiervan neemt de efficiëntie snel toe door de verhouding tussen temperaturen T1 en T2 te verkleinen. Aangezien het verschil tussen de temperatuur van de buitenomgeving en een comfortabele kamertemperatuur zelfs in de winter laag is, is het rendement van de warmtepomp bijzonder aantrekkelijk bij de verwarming van woningen; in een middelgroot gebouw kan de energiebesparing zelfs 35 % bedragen.

Warmtepompen kunnen echter gemakkelijk worden toegepast, zelfs in industriële faciliteiten, zoals fractioneringskolommen in raffinaderijen of in andere petrochemische fabrieken.

Met geavanceerde technologieën en een zorgvuldiger architectonisch ontwerp is het gebruik van zonne-energie voor ruimteverwarming en -koeling*, waar het klimaat het toelaat, een technologisch haalbare oplossing waarvoor al voorbereidend onderzoek wordt verricht.

Er moet echter op worden gewezen dat, hoewel de meeste technologieën in deze sector bekend zijn, de grootschalige toepassing ervan traag verloopt vanwege niet-technische factoren zoals de structuur van de bouwsector, het gedrag van gebruikers en de kapitaalbehoeften.

Daarom moet de terugwinning van afvalwarmte en lage-temperatuur-stoom van elektriciteitscentrales voor industriële of woning toepassingen op grotere schaal worden verspreid. In het geval van centrale verwarming van stedelijke gebouwen moet er natuurlijk rekening mee worden gehouden dat deze minder algemeen toepasbaar is, aangezien elektriciteitscentrales en woonruimten vaak ver van elkaar verwijderd zijn. Kerncentrales worden om veiligheidsredenen vaak op nog grotere afstanden van steden gehouden.

Dit is een ander voorbeeld van interacties tussen energie en landgebruik dat we al noemden in de transportdiscussie. Een gecoördineerd industrieel-woon-commercieel systeem op lokale basis zou ook energie-geïntegreerde systemen mogelijk maken. Decentralisatie van elektriciteitsopwekking met terugwinning van restwarmte voor verwarming of koeling zou een waardevol alternatief kunnen zijn voor de huidige sterk gecentraliseerde systemen.

De kwestie van centralisatie versus decentralisatie houdt in dat de voordelen worden afgewogen: van technologische standaardisatie versus het aanpassen van technologieën aan lokale omstandigheden; van centrale planning tegen zelfbetrokkenheid van de bevolking; van homogene criteria voor veiligheid en beveiliging tegen de mogelijkheid voor de man van de straat om de risico's en voordelen van verschillende energieopties te beoordelen.

Hoewel de algemene kwestie van energie *efficiëntie* bij elektriciteitsopwekking en -distributie aan de orde komt in paragraaf 2.4.1, zal hier bijzondere aandacht worden besteed aan de problematiek van de terugwinning en benutting van restwarmte. Het is bekend dat in een thermisch station voor elektriciteitsopwekking maximaal 40% van de brandstofenergie-inhoud wordt omgezet in elektriciteit, zodat ten minste 60% van de energie voornamelijk aan het koelmedium verloren gaat. Als warmte en elektriciteit

* Zie ook paragraaf 2 3.2.

in een gecombineerde centrale zouden kunnen worden geproduceerd, zou de thermische efficiëntie toenemen van 35-40% naar 85-90%. Zoals is aangetoond, is dit mogelijk met "tegendruk"-centrales, waar koelwater temperaturen bereikt die hoger zijn dan die welke worden verkregen in conventionele "condensatie"- energiecentrales. De energiestroom in dit soort centrales wordt geïllustreerd in de diagrammen van Fig. 6.

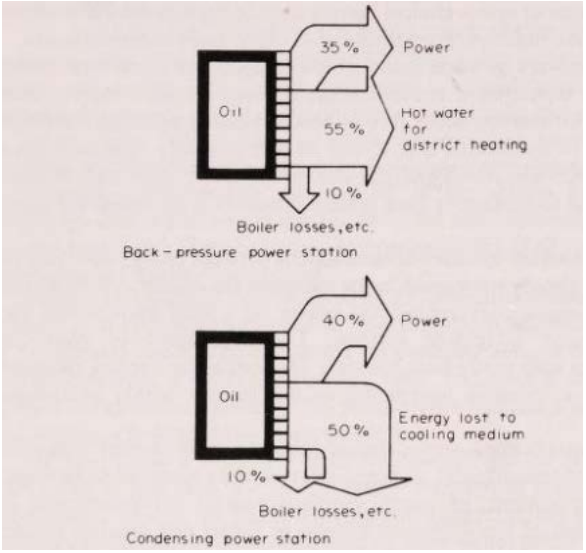



Fig. 6. Energie-gebruik in "condensatie"- en in "tegendruk"-centrales. In conventionele "condensatie"-centrales wordt de stoom na de turbine gecondenseerd door middel van koelwater (koude condensatie). De afvalwarmte van het condensaat wordt met koelwater afgevoerd. In de "tegendruk"-centrales, waar tegelijkertijd warmte en elektriciteit worden geproduceerd, kan de stoom na de turbine op zo'n hoge temperatuur worden gecondenseerd dat het koelwater kan worden gebruikt om gebouwen en dergelijke te verwarmen (warme condensatie), hoewel de opbrengst van elektrisch vermogen is iets verminderd.

Een combinatie kan worden verkregen door de turbine van een tegendrukstation uit te rusten met een lagedruk-sectie voor koude condensatie. Zo'n krachtcentrale kan dan op warm-condensatie-bedrijf of koud-condensatie-bedrijf draaien of op gemengd bedrijf waarbij beide condensatiemethoden worden gebruikt.

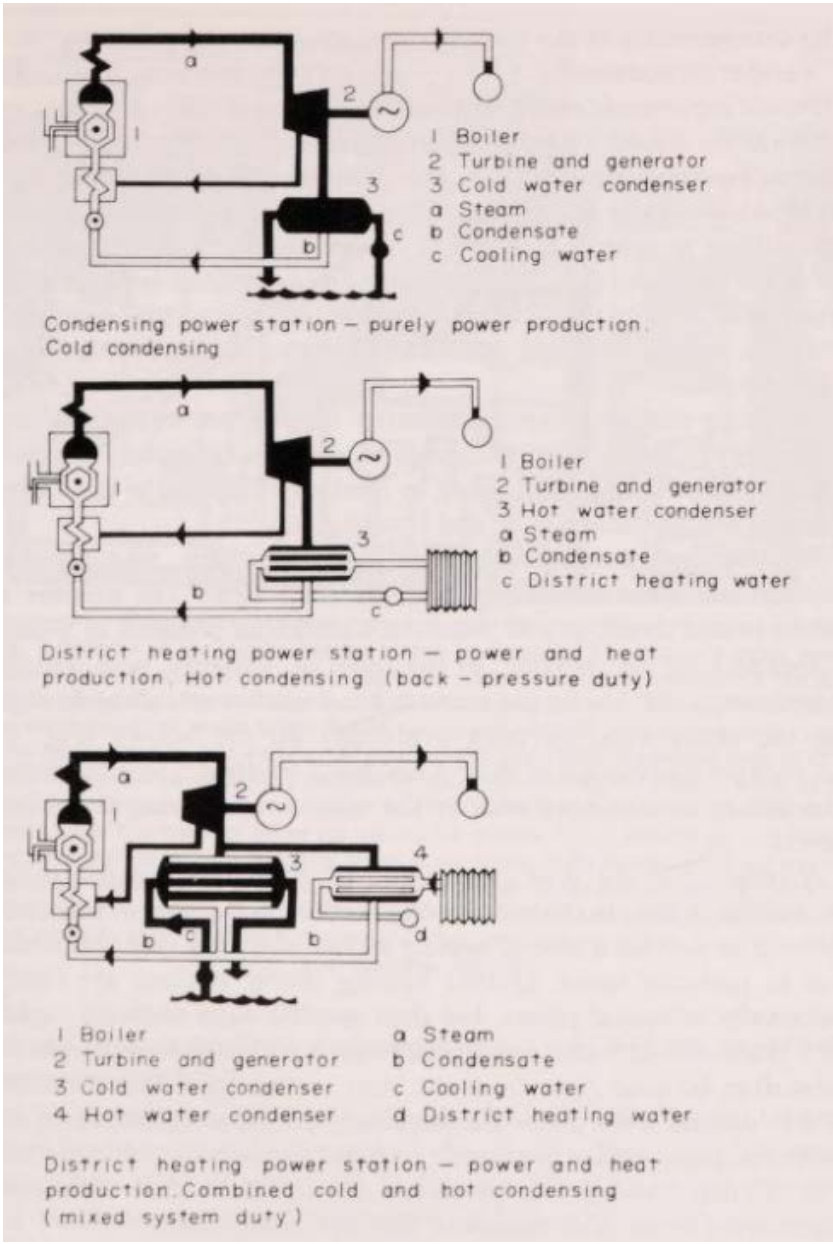



Fig. 7. Inrichting van de koelalternatieven in verschillende ontwerpen van energiecentrales.

De opstellingen van de koelalternatieven worden getoond in Fig. 7.

Er zijn verschillende toepassingen voorgesteld voor restwarmte, en er bestaan verschillende ervaringen in industriële toepassingen, in de landbouw en in steden voor stadsverwarming, d.w.z. een verwarmingssysteem van een centrale fabriek van gebouwen in een gebied van een stad. Stadsverwarming is duidelijk economisch haalbaar gebleken en heeft ook duidelijke indirecte voordelen. Naast substantiële energiebesparingen helpen stadsverwarmings-installaties ongetwijfeld bij het verminderen van luchtvervuiling, aangezien controle gemakkelijker wordt bereikt in grote installaties die volledig zijn geautomatiseerd en constant worden bijgestaan door goed gekwalificeerde operators dan in een groot aantal kleine verspreide installaties.

Hoewel de voordelen van stadsverwarming aanzienlijk zijn en technologie goed bekend is, is deze vorm van gebruik niet wijdverspreid. Enige ervaring is aan het opbouwen in Noord-Europa, in de Verenigde Staten, Canada, de Sovjet-Unie en Frankrijk.

Een bijzonder interessant geval is dat van Zweden, waar stadsverwarming sinds 1950 snel is blijven groeien. Het aantal stadsverwarmde woningen en industriële bedrijfsruimten in Zweden nadert de één miljoen. De stad Västerås, met 120.000 inwoners, heeft een leveringsnetwerk van 300 km met vertakkingen die zich over het hele gebied uitstrekken en vrijwel alle huizen bestrijken (Fig. 8). Een bijkomend voordeel van stadsverwarming in Västerås is dat het systeem in de winterperiode sneeuwsmelt-diensten biedt op de hoofdwegen.

Een reden voor de langzame uitbreiding van warmtekrachtkoppeling is dat het in de omstandigheden van het verleden vaak moeilijk was om een centrale verwarmingsdienst te leveren tegen een prijs die aantrekkelijk was voor potentiële gebruikers. Stadsverwarmingscentrales zijn dure, technisch geavanceerde centrales, maar hun specifieke kosten nemen snel af met de grootte van de installatie. Het lijkt passend dat vanaf het begin een beleid van lage kosten voor abonnees wordt gehanteerd, uitgaande van een volledig gebruik van het systeem. Dit geeft de mogelijkheid tot snelle uitbreiding van de abonnees en maakt het mogelijk stations van economische omvang te bouwen. Het feit dat in het geval van Västerås zo'n beleid werd gevoerd, verklaart het opmerkelijke succes van stadsverwarming daar.

Concluderend kan men stellen dat er een algemene consensus bestaat onder deskundigen dat de groei van de vraag naar energie aanzienlijk zou kunnen

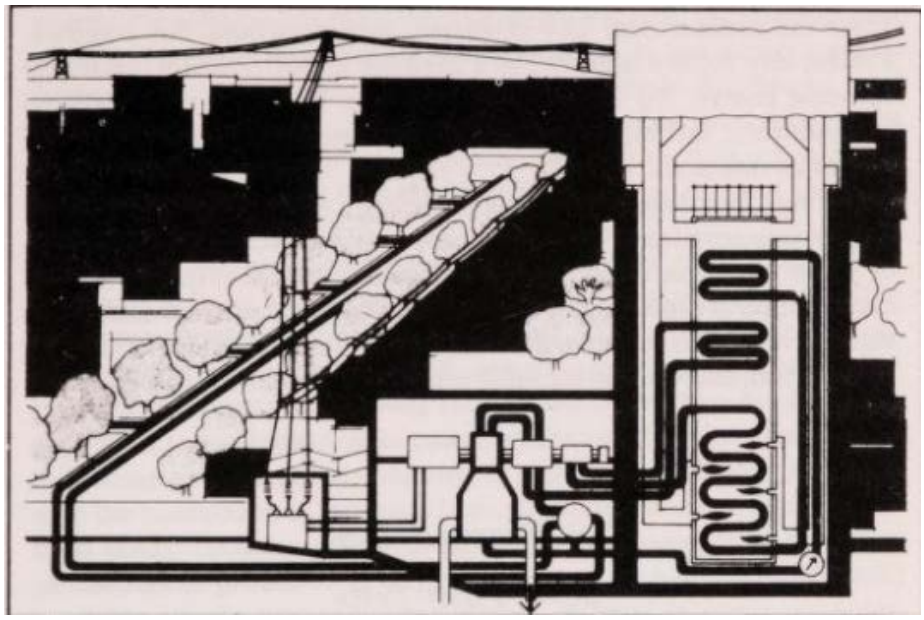


Fig. 8. Schema van het stadsverwarmingssysteem in Västerås. De stadsverwarmingscentrale voorziet alle bebouwde kommen in de stad van de nodige verwarming. Van de geproduceerde elektriciteit is iets minder dan de helft voldoende om Västerås' eigen behoeften te dekken; het grootste deel van het vermogen wordt via het transmissienetwerk naar de andere gezamenlijke stationseigenaren gedistribueerd. Het water in het leidingnet heeft normaal gesproken een temperatuur van 85°C bij het bereiken van de abonnee en kan in de winter tot 120 °C worden verhoogd. Water in de retourleiding heeft normaal gesproken een temperatuur van 55-65 °C. In Västerås wordt de warmte-inhoud van het retour-water gebruikt voor het verwarmen van de straten. Ongeveer 200.000 vierkante meter van het straat- en bestratingsoppervlak worden verwarmd door buizen onder straten te leggen, die via een warmtewisselaar worden verwarmd door het water in de retourleidingen van het stadsverwarmingssysteem. Een vrij lage temperatuur rond de 25 °C is voldoende om sneeuw en ijs op straat te vermijden. Dit voorbeeld kan ook interessant zijn voor andere koude regio's, vanwege de belangrijke sociale en economische voordelen.

worden verminderd in geïndustrialiseerde landen zonder substantiële veranderingen in de levensstandaard.

Er is een studie gedaan* naar een "zero energy growth"-plan voor de Verenigde Staten, te bereiken tegen het einde van de eeuw. Deze studie geeft aan dat een dergelijk doel technisch haalbaar is. De aard van economie in een "nul-energie-groei" zou de samenleving zeker heel anders zijn.

*Ford Foundation, *Energy Policy Project, 1974 - A Time to Choose.*

dan de huidige, maar de economische activiteit zou niet stagneren. De huidige samenleving is gericht op een nodeloos gebruik van overvloedige, relatief goedkope energie. Om een samenleving te ontwikkelen die weet hoe ze haar hulpbronnen, inclusief energie, moet beheren, zou een ander soort economische nadruk nodig zijn.

Wij vinden het essentieel om de maatschappelijke transitie te bestuderen naar een niveau van energieconsumptiegroei dat bijna nul benadert. Deze transitie is van groot belang en verdient een adequate onderzoeksinspanning. De belangrijkste bijdrage wordt niet alleen verwacht van de natuurwetenschappen en techniek, maar ook van de economische en sociale wetenschappen, die zullen helpen bij het begrijpen van de toekomstige problemen om dit doel te bereiken.

## 2.3. Energiebronnen

### 2.3.1. Fossiele brandstoffen

De bewezen en momenteel winbare fossiele brandstoffen (Fig. 9) zouden gedurende enkele decennia aan de wereldwijde vraag kunnen voldoen.

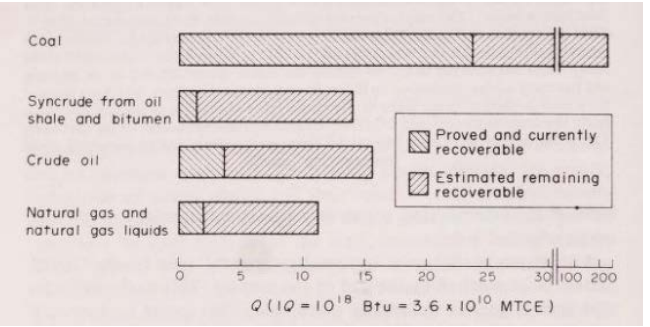



Fig. 9. Totale wereldvoorraad fossiele brandstoffen. (Gebaseerd op gegevens uit: *Oil and Gas Journal*, Dec. 1979; Perspectives énergétiques mondiales a l'horizon 2020. Paris 1979, Conférence Mondiale de l'Energie.)

Dit laat tijd over om alternatieve oplossingen voor het energieprobleem te vinden door de ontwikkeling van de technologieën die nodig zijn voor de exploitatie van nieuwe energiebronnen. Dergelijke brandstoffen zijn echter geenszins uniform verdeeld en de zelfvoorziening op energiegebied varieert in verschillende landen in overeenstemming met de geopolitieke verdeling van hulpbronnen. Daarom is het essentieel om nu al rekening te houden met beleidsproblemen met de bijbehorende handelsbalans en economische gevolgen.

Als het energieverbruik in het huidige groeitempo aanhoudt, zal er zeer waarschijnlijk een algehele tekort zijn van de wereldwijde productie van fossiele brandstoffen, die binnen de komende 50 jaar in veel regio's gemakkelijk voelbaar zal zijn. De verwachting is dat enerzijds nieuwe bronnen in een steeds groter percentage van de stroombehoefte zullen voorzien. Aan de andere kant zullen we getuige zijn van een voortdurende aanpassing van het gebruik van verschillende fossiele brandstoffen, waarbij een versnelde productie van conventionele olie- en gasbronnen wordt gecombineerd met de productie van synthetische brandstoffen uit steenkool, olieschalie en bitumineuze zand. Intensief gebruik van steenkool brengt veel sociale en technologische problemen met zich mee. Gedurende de periode van goedkope en gemakkelijk verkrijgbare olie ging de kolenmijnindustrie in veel landen achteruit. De heropbouw van de relevante beroepsbevolking zal moeilijk zijn en daarom zal een veel grotere mechanisatie van de kolenwinning nodig zijn. Dit kan bijzonder moeilijk te bereiken zijn in een land dat over uitgebreide steenkoolreserves beschikt in de vorm van de moeilijke smalle ondergrondse lagen. De opkomst van economische kolenvergassings- en vloeibaarmakingsprocedures kan een sterke impact hebben op de energieplannen op lange termijn voor landen met grote kolenvoorraden maar weinig of geen olie.

jaar 2029

De enorme groei van de productie en het verbruik van fossiele brandstoffen heeft ook bepaalde belangrijke milieuproblemen doen rijzen. Het eerste probleem betreft het vermogen van de biosfeer om de kooldioxide die vrijkomt in de komende 100 jaar te absorberen, in het waarschijnlijke geval dat een groot deel van 's werelds winbare fossiele brandstoffen gedurende deze tijd wordt verbrand. Zelfs als maar liefst 50% van deze koolstofdioxide zou worden geabsorbeerd door oceanen en bodem, zou de atmosferische concentratie van koolstofdioxide nog steeds stijgen van 0,032 tot ongeveer 0,2 vol. percent, waardoor de samenstelling van de atmosfeer aanzienlijk zou veranderen met mogelijke effecten op het klimaat. De situatie wordt verergerd door de activiteiten van de mens, zoals ontbossing. toename van het totale woestijngebied en zeevervuiling die fytoplankton bedreigt. Intensief onderzoek naar de mogelijke impact

van deze milieuverstoringen in de biosfeer moet hoge prioriteit krijgen gezien hun potentieel schadelijke effect op het energieverbruik. Een toename van de kooldioxide-uitstoot kan, althans gedeeltelijk, worden tegengegaan door een toename van de plantaardige biomassa. Dit zou een waardevol doel zijn, niet alleen voor het tegengaan van een CO2-ophoping in de atmosfeer, maar ook voor het verhogen van de productie van nuttig plantaardig materiaal. Energiegebruik kan ook gevolgen hebben voor het klimaat door thermische vervuiling en de uitstoot van fijnstof (zie hoofdstuk 5).

Andere milieuproblemen houden verband met de waarschijnlijke verhoogde steenkoolproductie in verschillende landen. De bijna stilstand van onderzoek en ontwikkeling op het gebied van steenkooltechnologie gedurende de afgelopen 20 jaar heeft de mijnbouw, verbrandings- en conversiemethoden in een achtergebleven toestand achtergelaten. Het gebruik van steenkool in elektriciteitscentrales is beperkt door milieucontroles op de uitstoot van SO2* en fijnstof in de atmosfeer. Er bestaan technische oplossingen, maar deze zullen extra kosten vergen, zowel wat betreft investeringen als operaties, die aanzienlijk kunnen variëren al naar gelang de kwaliteit van de steenkool. Wat de steenkoolproductie zelf betreft, kunnen moderne mijnbouwtechnieken, vooral in het geval van dagbouw (strip mining), zonder een goed herstelprogramma, leiden tot de vernietiging van hele gebieden, waardoor deze hun waarde voor land- en bosbouw verliezen.

Recente experimenten voor het beschermen en herstellen van het milieu zijn op veel gebieden succesvol gebleken. Het gebruik van restauratietechnieken, die economisch aanvaardbaar lijken, moet breed worden aangemoedigd. De exploitatie van oliehoudende leisteen en teerzanden brengt ook soortgelijke milieuproblemen met zich mee die moeten worden opgelost.

We moeten ook rekening houden met de langetermijnbehoeften aan fossiele brandstoffen als basisgrondstoffen, aangezien ze essentieel zijn voor de chemische industrie voor de vervaardiging van kunststoffen, synthetische vezels en rubber, meststoffen, detergenten, enz. Het niet-energetische gebruik van olie en gas (voornamelijk door de petrochemische industrie) vormde in 1976 slechts 3,6% van het totale verbruik van het OESO-gebied. Dit percentage zal naar verwachting stijgen, aangezien de wereldproductie van organische chemicaliën de afgelopen tien jaar met gemiddeld 15% per jaar is gegroeid, een snelheid die bijna het dubbele is van de wereldwijde vraag naar olie en gas. De petrochemische industrie speelt een uitstekende

---

* Zwaveldioxide

rol in de moderne samenleving, niet alleen als producent van synthetische materialen met verbeterde en nieuwe eigenschappen ten opzichte van de natuurlijke, maar ook vanwege zijn alomtegenwoordige karakter als essentiële leverancier voor alle andere industriële sectoren en landbouw. De petrochemische eindproducten, zoals kunststoffen of synthetische vezels, kunnen slechts gedeeltelijk worden vervangen door alternatieve materialen, zowel natuurlijke als kunstmatige, zoals hout, natuurlijke en kunstmatige vezels, glas en metalen.

Een manier om de chemische industrie te bevoorraden is door olie te vervangen door andere grondstoffen, zoals synthetische ruwe olie uit steenkool of andere fossiele brandstoffen.

Steenkool kan worden vergast met stoom om waterstof en koolmonoxide te geven, die op hun beurt kunnen worden omgezet in een mengsel van vloeibare koolwaterstoffen dat bruikbaar is als grondstof voor petrochemische fabrieken. Deze ombouw vraagt opofferingen in termen van kapitaalinvesteringen en energiebehoefte. De vergassing van steenkool zou op zich een oplossing kunnen zijn, zij het slechts voor de productie van een beperkt aantal petrochemische producten: waterstof, ammoniak, methanol en hogere alcoholen. Op de lange termijn kan het rechtstreeks vloeibaar maken van steenkool zonder een vergassingsfase te doorlopen een meer economische manier zijn om olie te vervangen.

Uiteindelijk, wanneer alle reserves aan fossiele brandstoffen zijn uitgeput, is het waarschijnlijk dat de mens kunstmatige koolwaterstoffen zal kunnen produceren uit vegetatie of zelfs uit waterstof en koolstofdioxide (uit de atmosfeer of uit carbonaatgesteenten). Voor dit ambitieuze doel zijn grote hoeveelheden energie nodig tegen relatief lage prijzen, die tegen die tijd verkrijgbaar moeten zijn, bijvoorbeeld door kernfusie of zonne-energie.

## RUWE OLIE EN AARDGAS

Zoals we hebben gezien, zijn olie en gas nu 's werelds belangrijkste energiebronnen, maar het zijn ook de energiebronnen die waarschijnlijk het eerst uitgeput raken.

In de afgelopen 30 jaar bedroeg de groei van de vraag 6,1% voor ruwe olie en 6,8% voor aardgas. In het licht van de recente ontwikkeling lijkt het onwaarschijnlijk dat de wereldvraag naar olie en gas de trend zal volgen die voor de oliecrisis bestond. Hoewel het olieverbruik zelfs bij lagere snelheden blijft groeien, zullen de bewezen olie- en gasreserves in de eerste helft van de eenentwintigste eeuw uitgeput raken. Zelfs een

jaar
2050

Tabel 4

kosten van de exploitatie van sommige fossiele brandstofbronnen

| Energie bron | investeringskosten (in 1975 U.S. $ /barrel (=158.98 liter) ruwe olie equivalent) | technische kosten per eenheid |
|---|---|---|
| *Olie* (1) | | |
| Persische Golf (2) | 1750 | 1.65 |
| Nigeria | 2800 | 2.25 |
| Venezuela | 2300 | 1.95 |
| Noord Zee (3) | 3250 | 4.15 |
| Grote diep- zee velden (4) | 5800 | 5.20 |
| New U .S.A- onshore (5) | 3200 | 4.35 |
| *Teer zanden* | 15,000 | 12.00 |
| *Schalie-olie* | 15,000 | 15.00 |

(1) Ramingen van de investering per dagelijkse piek (niet het gemiddelde per dag) en de technische kosten per eenheid, uitgaande van een korting van 15 % op het investeringsrendement en de bedrijfskosten.
(2) Water diepte 30 meter.
(3) Water diepte 152 meter: kosten stijgen sterk naarmate het werk verder naar het noorden en dieper gaat.
(4) Golf van Mexico conditions: water diepte 30 m.; vast platform.
(5) Prudhoe Bay (Noord Alaska).

een grote toename van de olievoorraden zou slechts een beperkte impact hebben op de industriële economieën, omdat de levensduur van dit kritieke materiaal slechts enkele jaren zou worden verlengd

Om het probleem in perspectief te plaatsen, moeten we eerst opmerken dat de meeste gepubliceerde schattingen van toekomstige voorraden afkomstig zijn van de olie-industrie. De reserves zijn van oudsher de voorraad die de industrie aanhoudt om aan haar productie-verplichtingen te voldoen, en vertegenwoordigen een voorraad van 20 tot maximaal 30 jaar. Dergelijke reserves geven geen realistisch beeld van de grotere hoeveelheden grondstoffen die door intensieve exploratie in reserves kunnen worden omgezet. De recente prijsstijging van aardolie is uiteraard een belangrijke factor bij het schatten van mogelijke toekomstige voorraden. Tabel 4 geeft de winstgevendheid weer van het exploiteren van rijkere of armere bronnen. De eerste kolom geeft de kapitaalkosten in $ U.S. 1975 voor één vat/dag capaciteit (of equivalent) en de tweede de technische eenheidskosten voor een vat (of equivalent) bij de bron. Deze tabel laat duidelijk

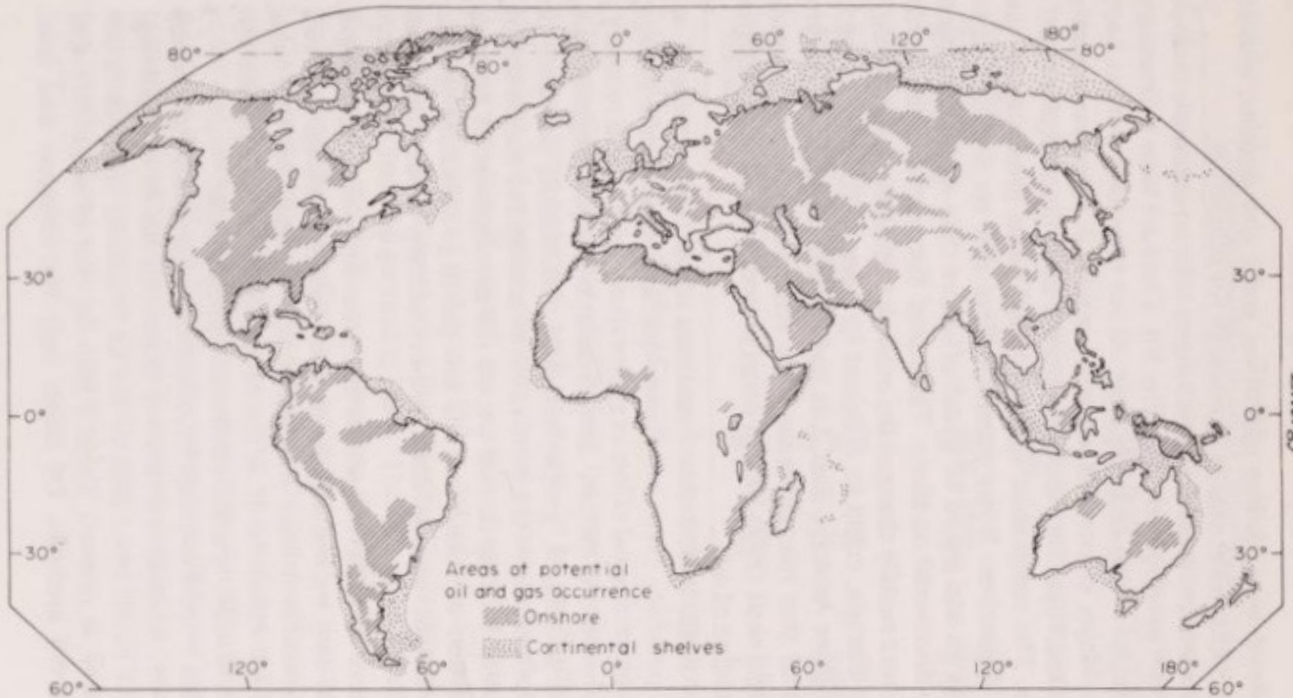



Fig. 10. World areas of potential oil and gas occurrence.
(From: P. R. Odell, *Energy Resources and Needs*, Macmillan, 1974.)

van booroperaties, en verklaart ook, zonder het echter te verontschuldigen, de verwaarlozing van onderzoek naar alternatieven.

De meest geavanceerde prospectietechnieken bieden optimistische vooruitzichten voor nieuwe olie- en gasontdekkingen (zie figuur 10). Er zijn grote sedimentaire onshore-regio's die zeker olie bevatten, maar die nog niet zijn onderzocht. Grote ontdekkingen zijn nog steeds mogelijk in verschillende continenten, maar de grootste hoop voor toekomstige ontdekkingen ligt in de onontgonnen offshore-gebieden. Het continentaal plat zou net zo veelbelovend moeten zijn als de continenten zelf. Sommige deskundigen zijn van mening dat er wereldwijd meer olie en gas voor de kust te vinden is dan alles wat er op de kust is en zal worden ontdekt. De recente ontdekkingen in de Noordzee, die de vooruitzichten voor de beschikbaarheid van aardolie in Noord-Europa snel hebben veranderd, zouden kunnen worden gevolgd door andere ontdekkingen in gebieden als off-shore Amerika, Oost-Azië en Australië. Geologische studies hebben aangetoond dat de talrijke enorme sedimentaire bekkens buiten het continentale plat (2000-3000 m diep) zeer goede omstandigheden bieden voor de vorming van olie.

De technologie om deze hypothese te testen moet zo snel mogelijk worden ontwikkeld. Nieuwe olie-ontdekkingen en -productie vereisen een intensieve technologische inspanning bij exploratie, boren en winning. In de olie-exploratie-sector is meer onderzoek en ontwikkeling nodig in de geologische, geofysische en geochemische wetenschappen voor een beter begrip van de vorming, migratie en accumulatie van olie. Er wordt onderzoek gedaan naar de ontwikkeling van methoden voor de detectie van ondergrondse olie en gas (bijvoorbeeld geavanceerde systemen voor het uitwerken van seismische gegevens, remote sensing vanuit vliegtuigen of ruimtevaartuigen).

Voor offshore-operaties zal het belangrijk zijn om technologieën te ontwikkelen voor het boren in diepe wateren, waarbij gebruik wordt gemaakt van niet-conventionele methoden, zoals onderwaterboringen en productiesystemen. Een andere basisvereiste voor offshore olie is de ontwikkeling van veilige productietechnologieën om milieuvervuiling te voorkomen.

Olie wordt niet alleen door consumenten verspild, maar ook door producenten tijdens de winning. Hoewel de oliewinningstechnologie is verbeterd, wordt momenteel gemiddeld ongeveer tweederde van de olie die oorspronkelijk aanwezig was, niet teruggewonnen. Tabel 5 geeft een overzicht van de kosten van secundaire en tertiaire winningsmethoden. Hiervan zijn alleen de goedkoopste en minste

Tabel 5
KOSTEN VAN SECUNDAIRE EN TERTIARE WINNINGSMETHODEN

| Recovery methods | Normal range of recovery improvement in % | | Incremental cost above well operating expense per barrel of added oil |
|---|---|---|---|
| | From | To | $ |
| *Secondary* | | | |
| Waterflood | 10-20 | 30-50 | 0.35—0.50 |
| Steam (heavy oil) | 10 | 60 | 0.75—1.25 |
| *Tertiary* (after watered out) | | | |
| Alternate gas-water | 30 | 40 | 0.25—0.35 |
| Thickened water (polymer) | 30 | 40 | 0.60—0.80 |
| Wettability reversal | 45 | 55 | 0.50—0.75 |
| Miscible—hydrocarbon | 45 | 75 | 0.75—1.00 |
| Miscible—$CO_2$ | 45 | 70 | 0.60—0.85 |
| Thermal | 40 | 70 | 1.25—1.50 |

From: T. M. Geffen, Oil production to expect from known technology, *The Oil and Gas Journal*, 7 May, 1973, p. 66.

efficient waren winstgevend tot voor de energiecrisis. Sommige van de duurdere winningsmethoden zouden bij de huidige hoge prijzen winstgevend moeten zijn, maar het onderzoek naar oliewinning moet worden versneld. Ook in veel olievelden worden grote hoeveelheden aardgas verspild. Naar schatting wordt jaarlijks 150 x $10^9$ m3 gas (waarvan de helft in het gebied van de Perzische Golf) ofwel uit olieproducerende velden afgefakkeld of komt in de atmosfeer terecht. Het ontbreken van een adequaat pijpleidingnetwerk en het moeilijke transport overzee hebben het gebruik van aardgas in het verleden ongetwijfeld beperkt.

Een mogelijkheid om verspilling te voorkomen is om aardgas om te zetten in een gemakkelijk transporteerbare brandstof. Vloeibaar maken tot LNG is een bekende maar dure techniek, en techno-economische verbeteringen die de kosten ervan zouden verlagen, zijn moeilijk te voorzien. Een kansrijk alternatief zou zijn om gas om te zetten in methanol. Deze procedure lijkt alleen economisch concurrerend te zijn met betrekking tot LNG over zeer lange scheepvaartafstanden (zie later).

## SYNTHETISCHE BRANDSTOFFEN UIT KOLEN EN ANDERE FOSSIELE BRANDSTOFFEN

Het bestaan van zeer grote en economisch winbare steenkoolvoorraden in Noord-Amerika en andere geïndustrialiseerde landen zal de ontwikkeling dwingen van processen voor het omzetten van steenkool en niet-conventionele fossiele brandstoffen, zoals olieschalie en teerzand, in vloeibare brandstoffen, wanneer de olie- en gasvoorziening beperkt of duur worden.

Volgens de studie van WOCOL (World Coal Study, georganiseerd door Caroll L. Wilson, MIT, 1978) wordt de totale jaarlijkse steenkoolmarkt in OESO-landen (Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling) voor synthetische brandstoffen wordt voor het jaar 2000 geraamd op 75 + 335 mtse (Megaton Steenkool equivalent); dit komt overeen met 15 + 67 grootschalige synfuel-installaties die elk 50.000 boe/d (vaten olie-equivalent per dag) produceren, waarvan twee-derde in de U.S.A.

### (a) SYNTHETISCHE BRANDSTOFFEN UIT STEENKOOL

Nieuwe ontwikkelingen gaan in de richting van drie hoofddoelen: hoogcalorisch gas uit pijpleidingen, laagcalorisch zwavelvrij gas voor brandstoffen voor elektriciteitscentrales en synthetische olie. Voor elk van deze doelen bestaan er al oude technologieën. Er zijn meer dan dertig verschillende processen bekend, met talloze variaties.

Bij vergassing kennen de Winkler-, Koppers- en Lurgi-processen al meer dan 30 jaar een groot commercieel succes (Winkler-installaties voor bruinkool, Lurgi-installaties voor niet-klonterende steenkool en Koppers-installaties voor beide). Ze werden zelfs toegepast (voornamelijk bij de gasproductie voor de synthese van ammoniak) toen olie extreem goedkoop was en de ontwikkeling van kolenvergassing stagneerde. De totale impact van kolenvergassing op de energievoorziening is echter altijd klein geweest.

In liquefactie was er een grote productie tijdens de Tweede Wereldoorlog in Duitsland (hydrogeneringsprocessen van Bergius en Pott-Broche die ruwe olie produceerden; Fischer-Tropsch-synchronisatie die voornamelijk lichte brandstoffen produceerde).

Met de eerste symptomen van een energiecrisis in de Verenigde Staten een paar jaar geleden, werden de ontwikkelingen op het gebied van vervangend aardgas (SNG, Substitute Natural Gas) ondernomen als aanvulling op aardgas. In sommige landen zijn vergassingsprogramma's uitgevoerd om nieuwe markten voor de kolenindustrie te vinden. In andere landen waren efficiëntie van de elektriciteitscentrale en milieukwesties (Clean Fuel Gas) de belangrijkste overwegingen voor vergassingsschema's met een gasturbine/stoomcycluscombinatie (bijv. Lurgi-Steag in Duitsland, zie Fig. 11). Momenteel zijn de meeste bestaande installaties

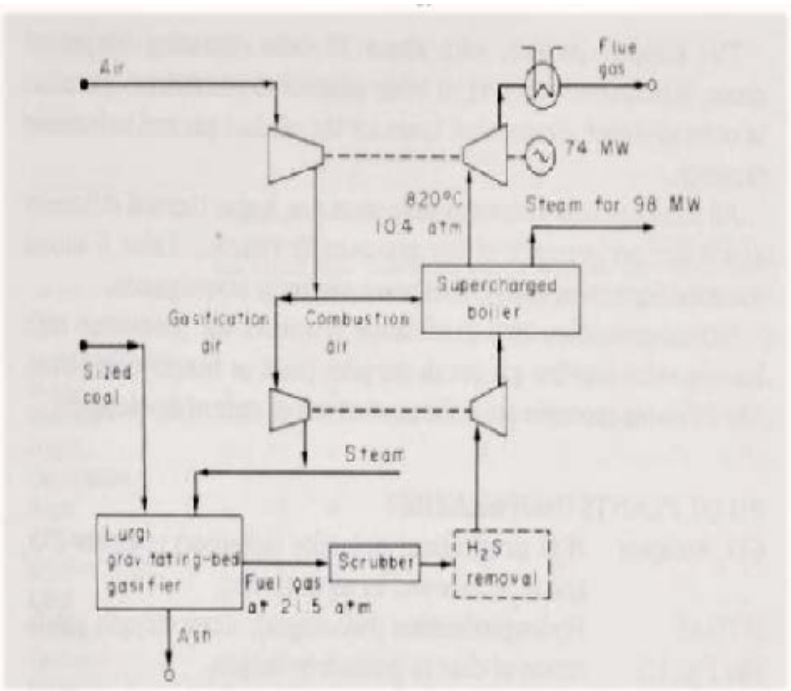



Fig. 11. Een stroomdiagram van een Lurgi, kolenvergassingsproces geïntegreerd in een gecombineerde gasturbine/stoomturbine-elektriciteitscentrale. Dit stroomschema toont de Lurgi-installatie in Lünen, Duitsland, die sinds 1973 in bedrijf is. Steenkool wordt omgezet in gas met hoge druk door reactie met lucht en stoom in de Lurgi-vergasser, die een supercharged Boiler voedt. Deze boiler levert gas onder hoge druk van 840 °C aan een gasturbinegenerator met een vermogen van 74 MW; lagere warmte van de ketel, in de vorm van stoom, wordt ook gebruikt voor een conventionele stoomgenerator die 98 MW produceert: dit dubbele gebruik van de hitte geeft de gas-stoomcombinatie-installatie een potentieel rendement van maar liefst 50%.

zeer beperkt in omvang en worden ze op experimentele of demonstratieve basis geëxploiteerd.

Er zijn nu ongeveer zestig Lurgi-vergassingsreactoren in bedrijf in de wereld (vast bed, 30 atm druk, zuurstof/stoom), waarvan de Zuid-Afrikaanse fabriek in Sasolburg de grootste is. De fabriek in Sasolburg voedt een productie van synthetische koolwaterstoffen via Fischer-Tropsch-synthese (1,2 x $10^6$ ton/jaar). Een tweede fabriek van hetzelfde type is nu in aanbouw in Zuid-Afrika (SASOL 2). Deze centrale zal naar verwachting in 1981 in gebruik worden genomen: het kolenverbruik zal ongeveer 15 x $10^6$ ton/jaar bedragen met een productie van ongeveer 3 x $10^6$ ton/jaar benzine. Een meer geavanceerde versie van het Lurgi-proces is het slagging-proces dat in het VK is ontwikkeld en dat hogere specifieke rendementen kan opleveren.

Het Koppers-proces, met ongeveer 20 eenheden in bedrijf (gedispergeerde fase, atmosferische druk), wordt aangepast en werkt onder hogere druk om compressieverliezen voor het product-gas te verminderen en de capaciteit te vergroten.

Alle processen moeten worden ontwikkeld tot grote fabrieken, met een hoger thermisch rendement en betere prestaties van de gasreinigingssystemen. Tabel 6 toont de belangrijkste kenmerken van de onderzochte processen voor de omzetting van steenkool in brandstof.

Kolenvergassingsprocessen van de tweede generatie voor de productie van pijpleidinggas met een hoge verwarmingswaarde bevinden zich in de proeffabriek- of laboratorium-fase. De volgende processen zijn in de meest geavanceerde staat van ontwikkeling:

PROEF-INSTALLATIES IN BEDRIJF

| | |
|---|---|
| $CO_2$-acceptor | $H_2O$-vergassing; dolomiet (acceptor) verwijdert CO2 en H2S; gevolgd door methanering. |
| HYGAS (zie fig. 12) | Hydrovergassing (twee fasen); stoom-zuurstof-vergassing van houtskool om waterstof te produceren. |

PROEF-FABRIEKEN IN AANBOUW

| | |
|---|---|
| Bi-gas | $H_2O$-zuurstofvergassing (twee fasen); asslakken; methanisering, steenkoolvergassingstechnologie. |
| Synthane | $H_2O$-zuurstof vergassing conversie naar H2 and CO; methanering; houtskool gestookte energie-centrale. |

Er bestaan nog minstens negen andere processen die met verschillende nadruk worden ontwikkeld. voornamelijk in de Verenigde Staten en Duitsland.

Alle processen gericht op de productie van vervangend aardgas (SNG) zijn afhankelijk van katalytische methanisering als laatste stap. Deze stap is nog niet uitgevoerd in grootschalige commerciële fabrieken, maar is getest in zeer grote proeffabrieken.

De tweede generatie processen voor SNG, waarbij gebruik wordt gemaakt van hydro-vergassing van steenkool en bruinkool, zijn minder bekend. Het economische succes van kolenvergassing kan worden vergroot door de beschikbaarheid van overvloedige, betrouwbare, zeer hoge temperatuur en goedkope warmte, zoals kernwarmte.

Op het gebied van de productie van vloeibare koolwaterstof uit steenkool is minder onderzoekswerk verricht. Het Bergius-proces is verder ontwikkeld tot het H-Coal-proces, die kobalt-molybdeenkatalysator gebruikt om fijne kool te hydrogeneren in een continu wervelbed in plaats van in een vaste batch.

TABEL 6
KOLENVERGASSING EN LIQUIFICATIE-PROCESSEN IN ONDERZOEK

Kolen naar vloeibare-brandstof processen

| | Heating value of the product gas | | | Type of reactor | | | Operating pressure | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Low | Medium | High | Fluid bed | Entrained bed | Moving bed | Low* | Medium † | High ‡ |
| *Coal to clean gas* | | | | | | | | | |
| Hydrogasification | | | | | | | | | |
| Bi-gas | × | × | × | | × | | | | × |
| Hydrane | | × | × | × | | | | | × |
| Hygas | × | × | × | × | × | | | | × |
| Gasification | | | | | | | | | |
| Atgas | × | × | × | Molten-iron bath | | | × | | |
| $CO_2$ acceptor | | × | × | × | | | | × | |
| Koppers Totzek | | × | × | | × | | | | |
| Lurgi | × | × | × | | | × | | × | |
| Molten salt | | × | × | Molten-salt bath | | | | | × |
| Synthane | × | × | × | × | | | | | × |
| U-gas | × | | | × | | | | × | |
| Union Carbide | | × | × | × | | | | × | |
| Wellman Galusha | × | × | × | | | × | × | | |
| Westinghouse | × | | | × | | | | × | |
| Winkler | × | × | × | × | | | × | | |
| *Coal to clean liquid* | | | | | | | | | |

| Synthesis gas route | Major by-products | |
|---|---|---|
| | Gas | Char |
| Fischer-Tropsch synthesis | × | |
| Methanol synthesis | none | |
| Pyrolysis | | |
| COED | × | × |
| Garrett | × | × |
| Toscoal | | × |
| Dissolution | | |
| CSF | × | |
| H-coal | × | |
| SRC | × | |
| Synthoil | none | |

* Typically 0-15 psig.
† 100-500 psi.
‡ 1000-1500 psi.

Source: *The Oil and Gas Journal*, 26 Aug. 1974, p. 74.

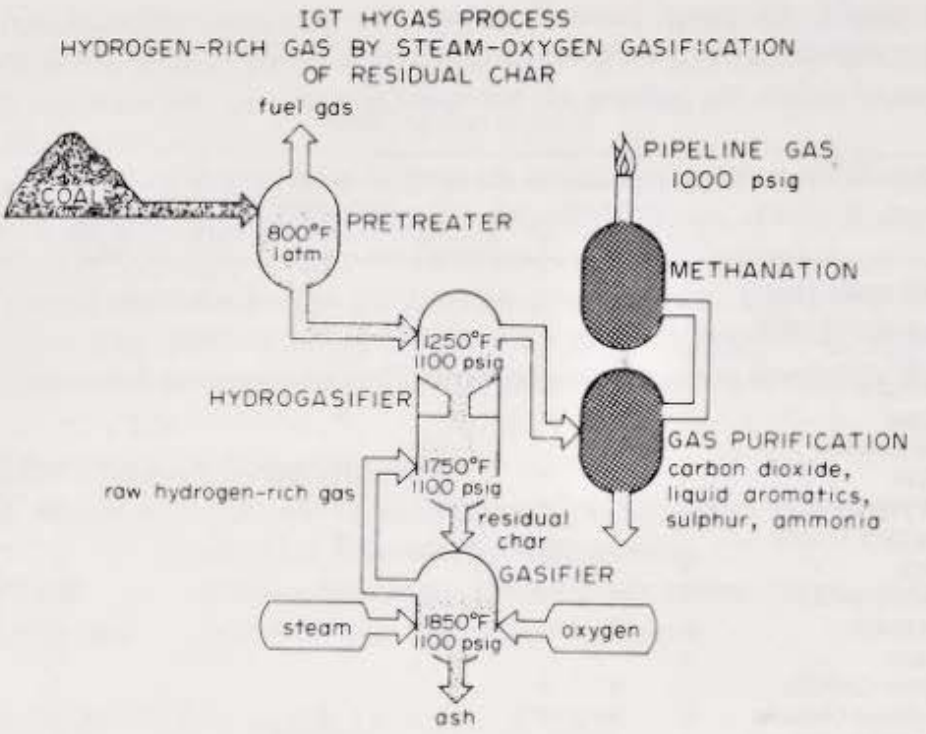



Fig. 12. Scheme of the IGT-HYGAS process for the production of hydrogen-rich gas. (Source: IGT, Chicago.)

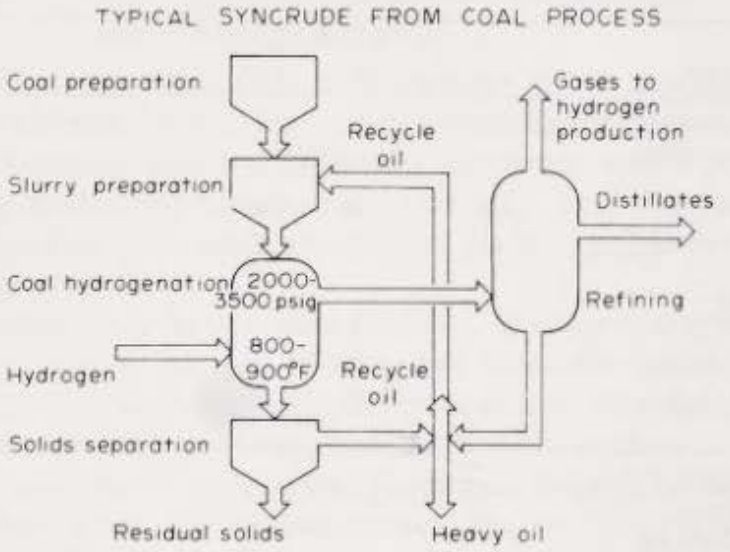



Fig. 13. Scheme of a typical process for manufacturing synthetic oil from coal. (Source: IGT, Chicago.)

Grootschalige industriële toepassing is echter niet te voorzien voor de jaren 1980-. Het doel van een moderne variant van het Pott-Broche-proces en andere soortgelijke benaderingen is een asvrije, zwavelvrije brandstof uit steenkool, verpompbaar wanneer heet, voornamelijk voor centrale stroom-toepassingen. Tenslotte zijn er combinaties van kraak-, carbonisatie- en oplosmiddel-stadia of van pyrolyse-stadia die zijn ontwikkeld voor de gelijktijdige productie van vloeibare en gasvormige, en soms zelfs vaste schone brandstoffen. Een typisch proces voor het produceren van syncrude uit steenkool wordt geïllustreerd in figuur 13.

Geschat wordt dat tegen het jaar 2000 de steenkoolproductie twee tot drie keer zo hoog zal zijn als in 1970. We moeten echter herhalen dat de heropleving van steenkool als een belangrijke energiebron bepaalde ernstige problemen op het gebied van mijnbouwtechnologie met zich meebrengt: de bescherming en het herstel van de milieu, de veiligheid van arbeiders in de mijnen en de levering van arbeidskrachten.

Voorgestelde alternatieven voor conventionele kolenwinning kunnen als volgt worden ingedeeld:

*Alternatieven voor conventionele kolenwinning**

| Vast-produkt | Vloeibaar-produkt | Gas-produkt | Energie |
|---|---|---|---|
| Volledig geautomatiseerde ondergrondse mijnbouw - op afstand bestuurbaar. | Destillatie van steenkool ondergronds - "ondergrondse pyrolyse" | Gedeeltelijke oxidatie van steenkool tot brandbare gassen ($CO + H_2$) - "ondergrondse vergassing" | Volledig ondergrondse verbranding om hogedrukstoom te produceren - "geothermische equivalent" |
| Via het breken van steenkoollagen en het naar de oppervlakte spoelen van gebroken steenkool - "hydrolic mining". | Oplossen van steenkool in oplosmiddel en oplossing aan de oppervlakte brengen- "Frasch-type proces". | Hydrogenering van steenkool tot methaan - "ondergrondse hydrovergassing". | |
| Productie van asvrije koolstof door ondergrondse vergassing te koppelen met behulp van $CO_2 + O_2$ met een faciliteit waar ondergronds geproduceerd CO wordt afgebroken tot $CO_2$ en C. | | | |

*Bron: Chemtech, Apr. 1974, p.232.

Van de alternatieven is onderzoek en ontwikkeling beperkt gebleven tot drie: ondergrondse vergassing, geautomatiseerde mijnbouw en hydraulische mijnbouw. Deze technieken hebben verschillende potentiële voordelen ten opzichte van conventionele mijnbouw: vermijden van gevaren die verband houden met ondergrondse

mijnbouwactiviteiten, het vermijden van de milieu-impact van strip-mijnbouw en van het probleem van mijn-afval hopen, steen-afval hopen en zure-mijn-drainage afval. Ondergrondse vergassing is de meest prominente van de voorgestelde alternatieven, maar er is nog veel onderzoekswerk nodig om de levensvatbaarheid ervan te realiseren, die beperkt lijkt tot gunstige omstandigheden. Een groot nadeel is de lage stookwaarde van het geproduceerde gas, dat niet economisch kan worden getransporteerd en daarom in de buurt van de mijn moet worden gebruikt.

## (b) SYNCRUDE VAN OLIESCHALIE

De winbare olieschalievoorraden in de wereld zijn waarschijnlijk even groot, mogelijk groter dan de resterende winbare ruwe olievoorraden. Daarom kan olieschalie steeds belangrijker worden, aangezien de piekproductie van ruwe olie waarschijnlijk ergens rond het einde van deze eeuw wordt bereikt.

Een deel van de technologie die nodig is om schalieolie te winnen is beschikbaar en sommige activiteiten zijn in uitvoering in de Verenigde Staten. De meeste bekende hulpbronnen zijn echter olieschalies met een lage olieconcentratie. Er zijn dus grote obstakels om de exploitatie van deze schalies mogelijk en economisch de moeite waard te maken. Een probleem is hoe het water moet worden geleverd dat nodig is voor de omzetting van schalie. De meeste schalieafzettingen in de Verenigde Staten bevinden zich in gebieden die notoir weinig water hebben dat nodig is voor het proces zelf en om de gemeenschap van schaliearbeiders te bevoorraden. Watertekorten kunnen de omzettingssnelheid van schalie beperken, ongeacht de beschikbaarheid.

Onderzoek en ontwikkeling zijn nodig om de schalie *in situ* te exploiteren, met ondergrondse oliewinning. Figuur 14 toont een proces, dat zich nu in de proeffase bevindt, waarbij gebruik wordt gemaakt van dit interessante concept, dat de milieuproblemen in verband met de productie van schalieolie aanzienlijk vermindert en geen water vereist.

## (c) BITUMENBRONNEN

Andere toekomstige laagwaardige koolwaterstofbronnen die in overweging moeten worden genomen, zijn teerzanden. Deze worden nu in Alberta geëxploiteerd. Het andere gebied van commerciële ontwikkeling zou de zwarte oliegordel van Orinoco in Venezuela kunnen zijn. Ook in deze sector vraagt een bredere verkenning van deze hulpbron om onderzoek en ontwikkeling

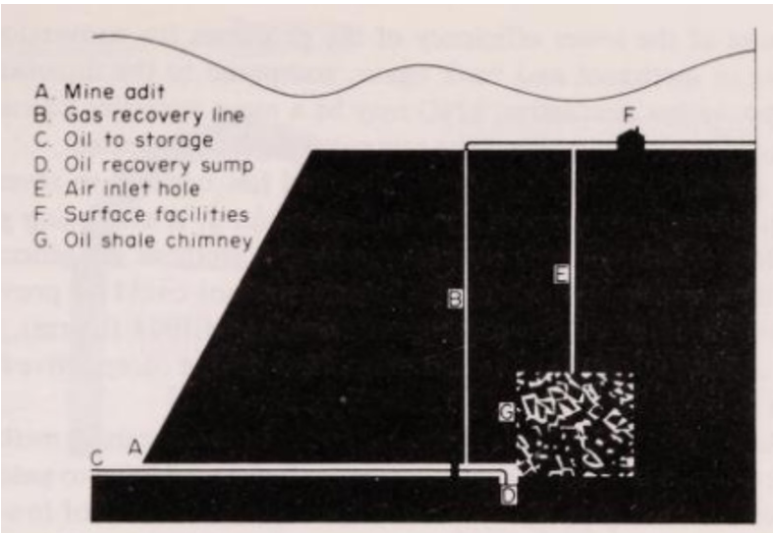



Fig. 14. Schema van het ondergrondse retort-proces om olie uit schalie te winnen. Het in-situ proces voor de winning van schalieolie voorkomt schade aan het milieu, aangezien de gebruikte schalie in de grond blijft. Dit diagram toont een ondergrondse olieschalie-schoorsteenretort (G) gevuld met schalie die is vergruisd door conventionele explosieven. Lucht wordt aangevoerd via het luchtinlaatgat (E) en voedt een ondergrondse verbranding die eerder is gestart door aardgas. De hitte van deze verbranding verandert het vaste organische materiaal in het gesteente chemisch om schalieolie te produceren. De olie wordt opgevangen in een opvangbak (D) onderaan de schoorsteen en wordt door de mijn-tunnel naar de adit (ingang) (A) en naar de olieopslag (C) gepompt. Een ander belangrijk product van het proces is gas, opgevangen en teruggevoerd naar de oppervlakte via de gaswinningsleiding (B).

## (d) METHANOL

LNG-transport vereist speciale scheepvaart met hoge kapitaalkosten. Maar aardgas kan eenvoudig worden omgezet in vloeibare methanol, die in goedkopere schepen kan worden vervoerd. Methanol zal waarschijnlijk een grotere rol gaan spelen in de toekomstige energie-economie, als middel om aardgas over zee te vervoeren. In de huidige omstandigheden heeft methanol een duidelijk voordeel ten opzichte van LNG voor zeer lange transportafstanden (7000-8000 mijl). Op dit moment zijn er enkele grote projecten gepland om aardgas om te zetten in methanol en het in deze vorm te verplaatsen in plaats van als LNG uit Saoedi-Arabië en Iran. Methanol uit deze bronnen wordt nu in de eerste plaats overwogen voor gebruik als brandstof voor elektriciteitscentrales. Er wordt echter ook overwogen om het per pijpleiding landinwaarts te verplaatsen en te hervergassen naar SNG.

Vanwege de lagere efficiëntie van de processen voor de omzetting van methaan in methanol en weer terug, in vergelijking met het alternatief voor vloeibaar maken en verdampen, kan LNG een aantrekkelijker alternatief zijn dan methanol, aangezien de prijs van het ruwe aardgas wordt verhoogd.

Het tekort aan destillaat-olie-brandstof is in de geïndustrialiseerde landen zo ernstig geworden dat er serieus wordt nagedacht over de productie van methanol uit steenkool met behulp van de bestaande technologie voor het genereren van synthese-gas. In een fabriek van 20.000 ton per dag zou methanol kunnen worden geleverd tegen een kostprijs van ongeveer $ 3 per miljoen Btu (gebaseerd op cijfers uit 1974) (Btu is inmiddels vervangen door Joule (J), 1 Btu is 1060 J). Deze kosten zijn momenteel oneconomisch, maar kunnen concurrerend worden als de marktprijs van ruwe olie stijgt.

Methanol is een ideale brandstof gebleken. Op de lange termijn kan methanol worden beschouwd als een motorbrandstof, of op zijn minst als een toevoeging aan benzine. Een ander interessant vooruitzicht gekoppeld aan een brede beschikbaarheid van goedkope methanol is het gebruik ervan als grondstof voor eiwitten en voor enkele belangrijke organische chemicaliën. De synthese van azijnzuur uit methanol met een recent ontwikkeld homogeen katalytisch proces kan bijvoorbeeld later worden gevolgd door de homologatie (het toevoegen van een extra methyleengroep aan een organische verbinding) van methanol om ethanol te produceren.

Voor de langere termijn moet de mogelijkheid worden genoemd om methanol te winnen uit synthesegas dat wordt verkregen door de in-situ vergassing van steenkool.

### *2.3.2. Niet-fossiele energiebronnen*

Fossiele brandstoffen zijn strikt niet-hernieuwbare hulpbronnen, en door ze als onze belangrijkste energiebronnen te gebruiken, kunnen ze een wereldwijde industriële beschaving niet veel meer dan een eeuw in stand houden, als de groei in consumptie doorgaat zoals verwacht. Op de lange termijn kan de industriële samenleving alleen overleven op praktisch onbeperkte energiebronnen, zoals die beschikbaar kunnen zijn uit kern-energie (inclusief fusie) of op zelfvernieuwende bronnen, zoals zonne-energie. Heden is er geen technisch haalbare oplossing (die algemeen aanvaard wordt) voor de energiecrisis. Daarom moeten verschillende mogelijke oplossingen worden geanalyseerd en hun mogelijke impact op de planeet goed worden beoordeeld.

De beste strategie voor een harmonieuze economische ontwikkeling moet zorgen voor voldoende flexibiliteit in het gebruik van verschillende primaire energiebronnen, mogelijk zodat schaarste van sommige hulpbronnen niet leidt tot

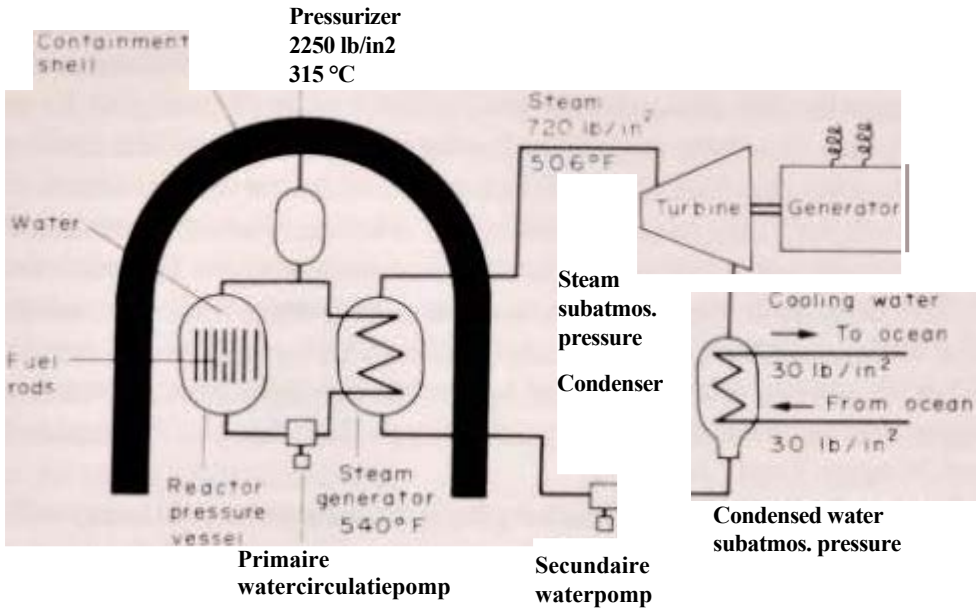



Fig 15. Schema van een lichtwaterkernreactor onder druk. De kernreactor met onder druk staand water wordt zo genoemd omdat het primaire watersysteem, waarvan het water dient om de reactor te matigen en warmte te transporteren, werkt op 2250 lb/in$^2$, waar het kookpunt hoger is dan 315°C. De warmte wordt door dit primaire water van de reactor naar een stoomgenerator getransporteerd, waar het wordt overgebracht naar het secundaire watersysteem dat onder zo een druk staat zodat het net boven 500 °F kookt. Stoom in dit systeem drijft een conventionele turbine aan en daardoor een generator, wordt vervolgens gecondenseerd en gerecirculeerd naar de reactor stoomgenerator. Omdat de bedrijfs-temperaturen van het secundaire watersysteem veel lager zijn dan de 537 °C die kan worden bereikt in moderne fossiele brandstoffen, is het thermisch rendement veel minder en de warmteafvoer van de condensor naar de omgeving per eenheid gebruikersenergie is hoger. Zowel primaire als secundaire watersystemen zijn gesloten en er zijn uitgebreide voorzorgsmaatregelen tegen het ontsnappen of radioactiviteit van de reactor naar het milieu.*
( *Technology Review,Oct./Nov. 1971.)

crisissituaties, zoals het geval was voor olie in 1973. Het is belangrijk dat dergelijke essentiële langetermijnoverwegingen worden meegewogen bij het oplossen van de energieproblemen opleveren. Tijdelijke noodoplossingen kunnen gemakkelijk de weg vrijmaken voor ernstige crises in de toekomst.

## Kern Splijting

Een substantiële ontwikkeling van vermogen op basis van kernsplijtingsenergie
vindt al plaats en zal naar verwachting in de nabije toekomst groeien. Bijna alle kernsplijtingsinstallaties zijn momenteel "thermische" reactoren (Afb. 15). Ze "verbranden" de splijtbare isotoop U235, die 0,7% natuurlijk uranium, en een ander splijtbaar element produceren (plutonium) in een kleinere hoeveelheid dan het verbrande U235. De meeste moderne

fabrieken werken met 2 - 3,5% verrijkt uranium. Gasgekoelde reactoren van het type Magnox en het Canadese systeem (zwaarwaterreactoren) werken echter met natuurlijk uranium.

Tot nu toe werd uraniumverrijking, dat wil zeggen de scheiding van de uraniumisotopen in het splijtbare U235 en U238, bijna uitsluitend uitgevoerd in gasdiffusiefabrieken. Uraniumverrijkingsprocessen zijn zeer energie-intensief. Zo zal de Eurodif-fabriek in Tricastin (Frankrijk), die momenteel in bedrijf wordt genomen met een capaciteit van 10,8 miljoen separatieve werkeenheden (SWU)*/ jaar, worden gevoed door vier 925 MW kerncentrales. Onlangs zijn centrifugaalscheidingsfabrieken in bedrijf genomen in Capenhurst, Engeland, Almelo, Nederland, en Ningyo-Toge, Japan.

Vanwege de hoge financiële- en energie-behoeften van deze verrijkingstechnologieën, is het noodzakelijk om onderzoek naar goedkopere technieken te stimuleren. Een veelbelovende ontwikkeling is het laserscheidingsproces, waarbij een afstembare kleurstoflaser wordt gebruikt om atomen van één isotoop te exciteren zonder andere isotopen te prikkelen. De aangeslagen isotoop kan dan fysisch of chemisch worden gescheiden. Een ander proces in ontwikkeling is de zogenaamde "nozzle-methode", gebaseerd op een scherpe verandering in de richting van een $UF_6$-gasstroom.

Verdere moeilijkheden doen zich voor in de latere fase van "brandstofopwerking" van de splijtstofcyclus. "Opwerking" kan beperkt zijn vanwege het tekort aan opwerkingsfabrieken, aangezien enkele technische en veiligheidsproblemen nog moeten worden opgelost. Bovendien kunnen de hoge en stijgende kosten voor dergelijke installaties, samen met een te lange vertraging in winstgevendheid, de installatie ervan ontmoedigen. Over het algemeen maken snel stijgende kosten en tijdslimieten tussen de start van een programma en de start van een positieve cashflow het steeds moeilijker om programma's te matchen met echte prestaties.

---

* De grondstof- en uitvoer-stromen van verrijkingsinstallaties kunnen verschillende U235-concentraties hebben, afhankelijk van het gewenste type dienst, dus het is onpraktisch om de capaciteit strikt te definiëren in alleen kwantiteit-van-materiaaleenheden. In plaats daarvan wordt het concept van scheidingswerk gebruikt. Een scheidingswerkeenheid, gewoonlijk uitgedrukt in kg, meet de inspanning die wordt geleverd om een bepaalde hoeveelheid uraniumvoeding van een bepaalde test te scheiden in een verrijkte stroom en een verarmde stroom. Er is bijvoorbeeld 4,306 kg scheidingswerk nodig in een bepaalde gasdiffusie-installatie om 1 kg verrijkt uranium te produceren dat 3% U235 bevat wanneer de grondstof 5,479 kg uranium is met 0,711% U235.

Zo lag het percentage elektriciteit opgewekt door kerncentrales in 1979 in de meeste landen nog onder de 15%, met uitzondering van België, Frankrijk, Zweden, Zwitserland, de Verenigde Staten en het Verenigd Koninkrijk. Eind 1979 bereikte het wereldwijd geïnstalleerde vermogen van kerncentrales 127.000 MW en tegen het jaar 1990 zal dit naar verwachting stijgen tot 400.000 MW. Als alle nieuw geplande centrales zonder vertraging zouden worden gebouwd, zouden ze in 1985 in sommige geïndustrialiseerde landen misschien meer dan 25 % van de elektrische stroom kunnen leveren. De meer recente cijfers van LNFCE* voor de World Outside Centrally Planned Economy Areas (WOCA) zijn echter een neerwaartse bijstelling van de prognoses van het Jaarverslag 1978 van NEA** voor de jaren 1990 en 2000.

De vertraging bij het realiseren van kerncentrales is grotendeels te wijten aan het gebrek aan economische prikkels. Het is echter een kwestie van controverse over de mate waarin de vertraging te wijten is aan milieuweerstand of aan technische mankementen. Vrijwel zeker hebben beide een rol gespeeld.

Tegen het jaar 2000 kunnen kerncentrales tussen 850.000 en 1.200.000 megawatt produceren. De overeenkomstige jaarlijkse behoefte aan natuurlijk uranium wordt geschat op 100.000 tot 200.000 ton uranium, met een waarschijnlijk gemiddelde van ongeveer 150.000 ton. Kan aan dergelijke vereisten worden voldaan met de beschikbare middelen? "Redelijkerwijs verzekerde" wereldvoorraden van uranium die kan worden geëxploiteerd tegen prijzen tot $ 130/kg U ($ 50/lb U3O8), wordt door een gezamenlijk NEA/IAEA- rapport over uraniumvoorraden geschat op 2,6 miljoen ton uranium. Geschatte "extra middelen" in deze prijsklasse waren 2,5 miljoen ton, terwijl overeenkomstige schattingen voor de prijsklasse $15-30/lb U3O8 nog eens 1,4 miljoen ton uranium bedragen.***

In 1978 bedroeg de uraniumproductie in WOCA naar schatting 39.000 ton U, wat kan worden vergeleken met de behoefte van 26.000 + 30.000 ton U, maar gedurende het volgende decennium, de werkelijke overtollige productiecapaciteit

*INFCE (lnternational Nuclear Fuel Cycle Evaluation) - Summary Volume, IAEA Vienna, 1980.

**OCDE-AEN (Agence pour l'Énergie Nucléaire), Besoins liés au cicle du combustible nucléaire. Paris, Février 1978.

***Joint Report by the OECD Nuclear Energy Agency and the lnternational Atomic Energy Agency, Paris, 1979.

zou verdwijnen op basis van de huidige planning. Gezien de onzekere aard van de resultaten van exploratie en de lange aanlooptijd van ontdekking tot productie, zullen de komende twee decennia toenemende niveaus van exploratie en ontwikkeling van uranium nodig zijn om na het jaar 2000 een adequate productie te hebben.

Er is een aanzienlijk potentieel voor de ontdekking van conventionele hulpbronnen naast die in de categorie "Geschatte aanvullende hulpbronnen". De vooruitzichten voor dergelijke nieuwe ontdekkingen worden gunstig geacht, zoals blijkt uit een onlangs voltooide internationale studie* van het wereld-uraan-potentieel. De studie identificeerde gunstige gebieden voor nieuwe ontdekkingen op een wereldwijde basis. Het oordeelde dat de hoeveelheid "speculatieve bronnen", tegen kosten tot US $ 130/kg U die zou kunnen bestaan in de geïdentificeerde gebieden, 6,6-14,8 miljoen ton U zou bedragen. De studie benadrukte dat de "totalen niet bedoeld zijn om de uiteindelijke bronnen van uranium aan te geven, aangezien het perspectief van de groep werd beperkt door de huidige kennis, die zelf in veel delen van de wereld ernstig beperkt is". Bij de bespreking van deze tonnages van speculatieve bronnen, benadrukte het International Uranium Resources Evaluation Project (IUREP) dat er weinig gezegd kon worden over de vindbaarheid of beschikbaarheid van de hulpbronnen. Het was echter van mening dat "een groot deel van deze speculatieve hulpbronnen pas na het eerste kwart van de eenentwintigste eeuw ontdekt en in productie genomen mag worden".

Uranium is mogelijk ook verkrijgbaar uit verschillende, normaal gesproken zeer laagwaardige "onconventionele" soorten hulpbronnen, zoals leisteen, graniet van bovengemiddelde kwaliteit, kolen en bruinkool en zeewater.

De logistiek van het delven van de enorme hoeveelheden gesteente die nodig zijn om een substantiële productie van uranium te bereiken, is echter formidabel en levert ook moeilijke milieuproblemen op. Bovendien zou de energie die nodig is om dergelijk uranium te krijgen, een aanzienlijk deel kunnen uitmaken van de energie-inhoud van het uranium zelf. Economisch gezien zouden zelfs hogere prijzen voor uranium niet ondraaglijk zijn, aangezien in lichtwaterreactoren (LWR) een stijging van $ 2,6/kg U een stijging van ongeveer 0,01 cent zou betekenen in de prijs per kWh,

---

*_World Uranium Potential, An International Evaluation_, NEA/IAEA, December 1978 (IUREP study).

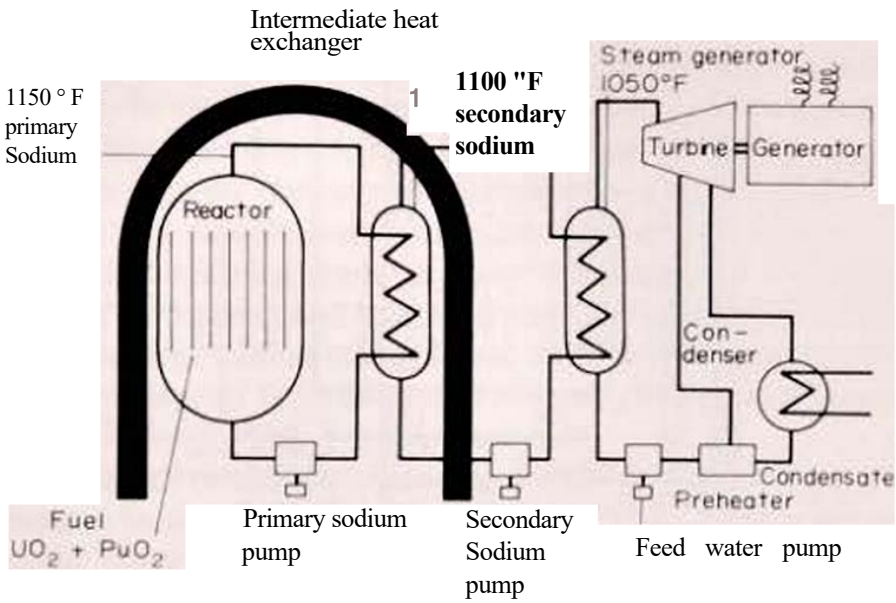



Fig. l6. Schema van een vloeibaar-metaal snelle kweekkernreactor. In de vloeibaar-metaal-snellekweek-reactor vervangen twee natrium-systemen het helium in de gasgekoelde reactor; natrium wordt gekozen vanwege zijn hoge thermische geleidbaarheid en warmte-capaciteit, die in wezen het risico van oververhitting van de reactor elimineren. Warmte uit de reactor wordt bij ongeveer 620 °C door het primaire (radioactieve) natrium-systeem geleid en in de tussenliggende warmtewisselaar overgebracht naar het secundaire (niet-radioactieve) natrium-systeem (590 °C). Het secundaire systeem levert op zijn beurt energie voor een stoomgenerator in het watersysteem (565 °C) dat de conventionele turbine en generator aandrijft; hoge stoom temperaturen zorgen voor een relatief hoog rendement en een lage koelvraag voor de condensor van het watersysteem. (From: *Technology Review,* Oct./Nov. 1971.)

zodat $200/kg U (~ $ 80/lb $U_3O_8$) minder dan het dubbele van de kosten van elektrische stroom zou zijn vanwege de brandstof.

Naast uranium is thorium een vruchtbaar element dat door neutronen wordt omgezet in de splijtbare isotoop U233. Thorium zit tussen 3-4 keer overvloediger in de aardkorst dan uranium.

Aangezien de op thorium gebaseerde nucleaire technologie echter niet beschikbaar is, en er nog geen hoge-temperatuur-reactoren (die ook thorium gebruiken) tot dusverre gebouwd zijn, wordt er de komende jaren geen significante ontwikkeling met betrekking tot thorium exploratie verwacht en bestaat er momenteel geen grote commerciële markt. Om deze reden is de beschikbare informatie over thorium-bronnen schaars en veel minder betrouwbaar dan die over uranium-mijnen.
Redelijk verzekerde hulpbronnen die kunnen worden geëxploiteerd tegen prijzen tot $ 75/kg Th worden geschat op meer dan 600.000 ton en kunnen waarschijnlijk aanzienlijk worden vergroot door een exploratie-inspanning. Op dit moment is er echter geen

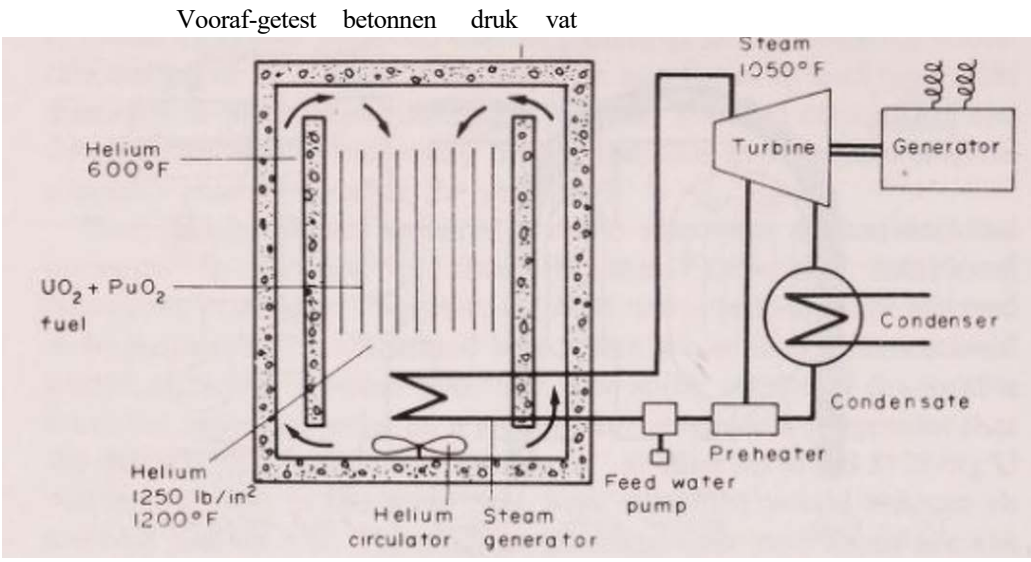



Fig. 17.Schema van een gasgekoelde snelle kweekkernreactor. De kweekreactor maakt gebruik van brandstof bestaande uit plutonium en de overvloedige 238-isotoop van uranium; splijting van één plutonium atoom door een snel (ongemodereerd) neutron uit het uranium levert 2,5 nieuwe neutronen op, en een van deze zet de splijtingsreactie voort, terwijl de overige 1,5 door het uranium-238 worden geabsorbeerd om nieuw plutonium te produceren ter vervanging van het plutonium dat bij splijting wordt verbruikt. In de gasgekoelde snelle reactor wordt heliumgas dat zelfs bij deze temperaturen inert is, door de reactor gecirculeerd en vervolgens door een stoomgenerator om stoom te produceren bij meer dan 540 °C; deze stoom drijft op zijn beurt een turbine aan die is aangesloten op een generator, wordt vervolgens gekoeld in een condensor en via een voorverwarmer teruggevoerd naar de stoomgenerator. Omdat er bij hoge temperaturen wordt gewerkt, kan het totale rendement oplopen tot 40% en is de hoeveelheid warmte die van de condensor naar de omgeving moet worden gedistribueerd per geproduceerde energie-eenheid relatief laag. (Uit: *Technology Review,* Oct./Nov. 1971.)

commerciële stimulans voor een dergelijke activiteit. Er moet rekening mee worden gehouden dat het starten van een op thorium gebaseerde cyclus een zeer aanzienlijke hoeveelheid U235 en dus van ruw natuurlijk uranium vereist. De thoriumcyclus is voorzien voor de hoge-temperatuur-reactoren van de huidige generatie en is voorgesteld voor de Canadese zwaarwaterreactoren. Een andere thoriumcyclus in thermische reactoren die tot een netto-kweek leidt, is die welke is bedacht in de Molten Salt Breeder Reactor (MSBR) en al op experimentele basis getest. De toepassing van de thoriumcyclus op de LWR (Licht Water Reactor) wordt onderzocht. Kweek in thermische reactoren door de thoriumcyclus is in principe mogelijk, ondanks economische overwegingen op korte termijn.
Het krachtigste middel waarmee energiebronnen kunnen worden geprolongeerd zijn in principe de snelle kweekreactoren. Ze hebben wellicht een

brandstofcyclus-efficiëntie die meer dan 50 keer hoger is dan die van LWR-reactoren omdat ze U238 omzetten in splijtbaar plutonium dat ze vervolgens verbranden (Fig. 16 and 17). De ontwikkeling van de kweek-centrale is ver gevorderd. Bovendien is het vermogen van snelle kwekers om de groei van de elektriciteitsopwekking zelf in stand te houden, gekoppeld aan een verdubbelingstijd (d.w.z. de tijd waarin ze hun plutoniumlading verdubbelen) vergelijkbaar met de verdubbelingstijd van de elektriciteitsvraag. Een onbeantwoorde vraag is of de splijtstofcyclus (opwerking en herfabricage) ooit zo kort kan zijn dat er acceptabele verdubbelingstijden zijn. In ieder geval zal de initiële opkomst van veredelaars afhangen van de beschikbaarheid van plutonium geproduceerd door thermische reactoren (LWR).

Er is nog geen veredelaar gebouwd van de geplande unit-grootte van 1500 MW. De grootste in bedrijf zijn de 300 MW Phénix-reactor in Marcoule, Frankrijk, die vanaf 1974 in bedrijf is, en de BN 350 MW in Shevchenko, Sovjet-Unie, die vanaf 1973 in bedrijf is. Op grotere schaal zijn er de BN 600 MW in Beloyarsk, Sovjet-Unie, die in het voorjaar van 1980 in gebruik werd genomen, en de Super Phénix, een 1200 MW-reactor in Créys Malville, Frankrijk, die nu (eind 1980) in een vergevorderde bouwfase.

Super Phenix was geen succes begin bouw: 1976 (operationeel 1985-1997) kosten 9.1 miljard euro

Er zijn tot dusver geen betrouwbare kapitaalkosten per geïnstalleerde kW vermeld.* De geplande kosten voor de demonstratie-installatie, dwz voor de eerste commerciële kweek-centrale, zijn echter zo hoog dat de uiteindelijke kosten van de kweekreactor, met alle noodzakelijke veiligheidsmaatregelen, aanzienlijk hoger zijn dan die van conventionele branderreactoren, en dit zou op zijn beurt leiden tot een stijging van de elektriciteitskosten.** Kweekreactoren zullen dus waarschijnlijk alleen concurrerend worden met de huidige lichtwaterreactoren als de prijs van $U_3 0_8$ aanzienlijk toe neemt. Volgens de evaluatie van INFCE*** voor snelle kweekcentrales (LMFBRS) kunnen de parameters die in een economische analyse worden betrokken van land tot land verschillen, afhankelijk van welke alternatieve bronnen voor langetermijngarantie van energie voor dat land beschikbaar zijn. Bij de overwegingen om LMFBRS en/of thermische reactoren in te zetten, wordt rekening gehouden met de balans tussen de toekomstige ontwikkeling van de wereldmarkt voor uranium en zijn toegang op lange termijn tot lokale reserves.

---

* Gebaseerd op echte ervaring.

** Ook rekening houdend met kostenbesparingen in de brandstofcyclus of snelle kweek.

*** INFCE/PC/5-Fast Breeders, Report of Working Group 5, January 1980.

Afgezien van puur technische en economische overwegingen, is de oplossing van het wereldenergieprobleem door kernenergie onderhevig aan bepaalde *a priori* bezwaren met betrekking tot zowel veiligheid als beveiliging. Deze hebben betrekking op alle vormen van splijtingsenergie, maar de gevaren lijken groter in het geval van kweek-centrales.

De snelle kweekreactoren zelf (en tot op zekere hoogte ook plutonium-recycling-waterreactoren) bevatten ongeveer een orde van grootte meer plutonium per eenheid vermogen dan conventionele waterreactoren. Het grootste probleem is echter de hoge plutoniumvoorraad in de splijtstofcyclus, buiten de reactor, d.w.z. in de verwerkingsfabriek, in de splijtstofproductielijnen en in de transportfaciliteiten tussen de verschillende splijtstofcyclusstappen. Er zijn twee *veiligheidsproblemen*: (1) het risico van falen en andere ongevallen, met het vrijkomen van gasvormige radioactieve effluenten en (2) de berging van radioactief afval.

Storingen kunnen worden veroorzaakt door onderbreking van zowel de koelvloeistof als van het noodkoelsysteem, dat automatisch zijn plaats zou moeten innemen. Dit is nog niet gebeurd in een kernreactor en de kans dat beide koelsystemen tegelijkertijd uitvallen is geschat op minder dan $10^{-8}$/jaar. De kans dat een dergelijk falen tot ernstige schade zou leiden, wordt in recente studies van de USAEC als aanzienlijk kleiner ingeschat. Er is echter geen algemene consensus over deze uitspraken, zelfs niet binnen de wetenschappelijke gemeenschap.

Het vrijkomen van radioactief-afvalwater bij de routinematige werking van reactoren kan worden teruggebracht tot aanvaardbare niveaus door insluitingstechnologie (meestal een koepel van met staal versterkt beton), die wordt waargenomen in alle moderne reactoren.

Daarentegen vormt de berging van radioactief afval een probleem met een grote verantwoordelijkheid voor de toekomst van de mensheid, aangezien een aanzienlijk deel van deze afvalproducten een lange halveringstijd heeft waardoor ze duizenden jaren gevaarlijk zijn en er geen algemeen aanvaarde methode bestaat om ze op te slaan.

Op dit moment moeten vanuit het oogpunt van afvalbeheer twee hoofdopties worden overwogen:

- de wegwerp-optie, waarbij verbruikte splijtstofelementen niet worden opgewerkt;
- de optie voor opwerking van splijtstof gevolgd door scheiding en recycling van uranium en plutonium.

De eerste optie voorziet in een afvalbeheersysteem dat de directe verwijdering van verbruikte splijtstoffen omvat, inclusief alle splijtingsproducten, actiniden, plutonium en splijtbaar uranium.

Er kan momenteel geen praktische ervaring worden gemeld, met name niet over de omvang van de behandeling en conditionering die nodig zou zijn om verbruikte splijtstoffen geschikt te maken voor berging; methoden voor het inkapselen van verbruikte splijtstoffen zijn niet aangetoond, maar worden nu getest. Meestal vereisen ze alleen de toepassing van bestaande technologie.

Indien gekozen wordt voor de tweede optie (opwerking) (en dit is nodig bij inzet van snelle kweekreactoren), ontstaan bij de opwerking van brandstof meerdere hoofdafvalstromen; dit zijn hoogactief afval, bekledingsrompen en ander alfa-afval, elk met kenmerken die rechtstreeks van invloed zijn op hun latere beheer. Voor hoogactief- en alfa-afval zijn nog geen grootschalige installaties voor solidificatie en conditionering in bedrijf.

Algemeen wordt aangenomen dat de vereiste technologie, hoofdzakelijk gebaseerd op verglazingsprocessen, nu beschikbaar is. Deze technologie wordt nu op industriële schaal toegepast voor laag- en middel-radioactief afval en is op technische schaal aangetoond voor hoog-radioactief afval.

In ieder geval vereisen zowel hoogactief (en alfa) verglaasd afval als niet-opgewerkt afval van verbruikte splijtstof een hoge mate van langdurige isolatie van de biosfeer.

De mogelijke oplossingen op korte termijn die over het algemeen als geschikt worden beschouwd om te voorzien in insluiting voor langere tijdsperioden, bestaan in wezen uit het onderbrengen van het afval (of verbruikte splijtstof) in stabiele diepe geologische formaties.

Er moet rekening mee worden gehouden dat vanuit het oogpunt van afvalverwerking de "weggooi"-optie ertoe zou leiden dat 100% van het geproduceerde plutonium afval wordt, in plaats van 1 tot 2%, wat op basis van de huidige ervaring, het algemeen geschatte verlies is tijdens de verschillende stappen van een geïndustrialiseerde plutoniumbrandstofcyclus.

Er wordt nu onderzoek gedaan naar methoden om plutonium en actiniden uit radioactief afval te scheiden, van opwerking en recycling van deze stoffen terug in de reactor. De slagingskansen lijken goed te zijn. Het is echter nog niet duidelijk hoe radioactief afval met een halfwaardetijd van ongeveer een eeuw kan worden gerecycled. Dergelijke veiligheidsproblemen zijn ernstig,

hoewel sommige deskundigen er zeker van zijn dat er technologische systemen kunnen worden opgezet die betrouwbaar genoeg zijn om de risico's tot een aanvaardbaar niveau terug te brengen. De meerkosten voor het voldoen aan veiligheidseisen zullen echter waarschijnlijk aanzienlijk zijn.

*Veiligheidsaspecten* lijken veel problematischer, omdat ze dramatische gevolgen kunnen hebben voor de mensheid. Deze kwestie kan niet alleen vanuit technologisch oogpunt worden bekeken. Het eerste veiligheidsprobleem is de beheersing van de grote voorraad plutonium in de verwerkingsfabrieken van kernreactoren, vooral van snelle kweekreactoren. Deze plutonium kan worden gebruikt als grondstof voor de constructie van atoombommen. Het kan ook worden gebruikt in terroristische wapens vanwege zijn kankerverwekkende werking.

Dit probleem brengt zo'n grote verantwoordelijkheid met zich mee dat er zelfs is voorgesteld om de behandeling van plutonium toe te vertrouwen aan een zorgvuldig geselecteerde groep hooggekwalificeerde en toegewijde personen van over de hele wereld: "een nucleair priesterschap".

Deze actie zou worden uitgevoerd om misbruik van plutonium en andere bijproducten voor politieke of criminele doeleinden te voorkomen. Het voorstel lijkt utopisch, maar het feit dat het is ingediend door voorstanders van kweekreactoren geeft de ernst van het probleem aan. Veiligheidsproblemen kunnen ook worden aangepakt door strikte paramilitaire procedures vast te stellen voor de controle van kerncentrales. Geen gram plutonium mag ooit de zorgvuldig bewaakte kernverbindingen in ongelegeerde vorm achterlaten. Al dergelijke maatregelen zouden hogere exploitatiekosten van de reactoren met zich meebrengen en kunnen de vrijheid van de burgers aantasten, maar ze moeten onder ogen worden gezien.

Ten slotte, als alle bovengenoemde problemen worden opgelost door voldoende betrouwbare en economisch aanvaardbare maatregelen, blijft er nog steeds een politiek probleem bestaan. Het gaat om het gebruik van plutonium voor bewuste politieke acties door soevereine staten. Het probleem is als volgt: als kweektechnologie economischer blijkt te zijn dan conventionele kernreactor-technologie, dan zou het eerlijk zijn om deze technologie voor alle landen beschikbaar te stellen. Maar dit brengt grote politieke risico's met zich mee, omdat regeringen van politiek instabiele landen kunnen besluiten om vrij gebruik te maken van het beschikbare plutonium. Als alternatief kunnen rebellengroepen die *putsch*-acties (een coup of staatsgreep) ondernemen een vergelijkbare macht hebben. Aan de andere kant kan het beperken van veredelingstechnologie tot geavanceerde landen leiden tot bestraffing van bepaalde

ontwikkelingslanden met als gevolg een grotere kloof die hen scheidt van de meer ontwikkelde landen.

Als het gaat om wereldwijde distributie van kernenergie, worden de gecreëerde problemen hardnekkig. Dr. Alvin Weinberg* heeft voorlopig een systeem uitgestippeld om een wereldbevolking van 15 miljard (ongeveer 4 keer de huidige) te voorzien van 20 kW per persoon (twee keer de huidige Amerikaanse norm) uit kernenergie. Hiervoor zouden 24.000 kweekreactoren van elk *5000* MW nodig zijn. Het zou betekenen dat we de komende honderd jaar vier kweekreactoren per week moeten bouwen. Bovendien, als elke reactor 30 jaar meegaat, zou men uiteindelijk twee reactoren *per dag* moeten bouwen om de versleten reactoren te vervangen. Dit is duidelijk een onhaalbaar scenario.

Hoewel de plaatsing van elektriciteitscentrales een algemeen probleem is, dat niet beperkt is tot de opwekking van kernenergie, wordt het in het kader van de milieubescherming bijzonder kritiek voor kernreactoren. Enerzijds zal de noodzaak van strikte veiligheidscontrole waarschijnlijk in veel gevallen een concentratie van kerncentrales in nucleaire parken noodzakelijk maken. Aan de andere kant levert een dergelijke concentratie problemen op die verband houden met verhoogde energiedistributiekosten en met de verspreiding van de vrijgekomen warmte en met de invloed ervan op het microklimaat.

De oceaan heeft aantrekkelijke eigenschappen als locatie voor elektriciteitscentrales, aangezien deze voldoende capaciteit lijkt te hebben om warmte op te nemen en over een zeer groot gebied af te geven. Er is een groeiende belangstelling voor het gebruik van de zee voor de plaatsing van kerncentrales, en plannen voor de aanleg van kunstmatige eilanden en grote drijvende constructies lijken nu haalbaar. Verbeterde energietransportsystemen (bijvoorbeeld supergeleiders voor elektriciteit of waterstof opgewekt door nucleaire proceswarmte) zijn nodig om de zee voor dit doel te kunnen gebruiken. Andere belangrijke problemen houden verband met constructiematerialen, in het bijzonder met betrekking tot de eigenschappen van corrosiebestendigheid en de impact op het milieu. Om de toekomstige vraag naar de zee als warmteontvanger te visualiseren, moeten we de mogelijke effecten op de zee zelf en op het klimaat bepalen, die grenzen zouden stellen aan dit soort gebruik.

Waanzin

ook waanzin

---

* A. Weinberg and R. P. Hammond, Globial effects of increased use of energy *Fourth International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy*, Geneva. 7 Sept. 1971.

Als alternatief voor de zee moet men overwegen om gebruik te maken van ondergrondse installaties, die hogere bouwkosten met zich meebrengen, die mogelijk gedeeltelijk worden gecompenseerd door lagere verzekerings- en algemene bedrijfskosten. Aan de andere kant wordt de afvoer van afvalwarmte gecompliceerder in ondergrondse installaties.

Het probleem van de terugwinning en benutting van de restwarmte van elektriciteitscentrales is van algemeen en groot belang. Slechts 30% van de energie wordt omgezet in elektriciteit in de huidige kerncentrales en 40% wordt bereikt in de beste moderne thermische centrales.

Nieuwe manieren om warmte te gebruiken zouden de algehele energie-efficiëntie verhogen en ook bijdragen aan een oplossing van de locatieproblemen. De interessantste mogelijkheden betreffen stadsverwarming* en stoomproductie voor industriële installaties die het rendement van de thermische installaties meer dan zouden verdubbelen. Andere interessante voorstellen zijn voor het benutten van de restwarmte in geïntegreerde ontzoutingsinstallaties, kasconditionering en viskwekerijen. Al deze voorstellen kunnen echter een beperkte hoeveelheid restwarmte benutten. Verwacht wordt dat de hoeveelheid beschikbare warmte overweldigend zal zijn ten opzichte van de beperkte toepassingen van lage-temperatuur warmte.

Concluderend moet worden toegegeven dat kernsplijting potentieel heeft voor de wereldwijde energievoorziening op middellange termijn als aanvulling op fossiele brandstoffen. Het probleem van mogelijk onvoldoende middelen om licht-water-reactoren te ondersteunen, zou worden opgelost door kweekreactoren of door de ontwikkeling van op thoriumcyclus gebaseerde reactoren. Maar de dreigende gevaren zijn zodanig dat alles in het werk moet worden gesteld voor de ontwikkeling van andere energietechnologieën. De beschaving kan het zich niet veroorloven afhankelijk te zijn van slechts één gevaarlijke energiebron. Het is absoluut noodzakelijk dat aan de energiebehoeften van de samenleving wordt voldaan met minder risico's.

Gezien de moeilijkheden die zich voordoen bij een groot aantal kerncentrales, moet de ontwikkeling van kernenergie worden beperkt. We moeten de limieten bepalen en bedenken dat de kenmerken van kernenergie (bijvoorbeeld de levensduur van radionucliden) ervoor zorgen dat elke keuze praktisch onomkeerbaar is voor de mensheid.

Door te kiezen voor kernsplijting als de belangrijkste energiebron van de mens, is het werkelijke probleem in wezen een sociaal probleem. In ruil voor een langdurige

* See section 2.2

energie-bron, moet de mensheid sociale verplichtingen aangaan en zijn sociale instellingen aanpassen om maximale integriteit van het hele nucleaire systeem te bereiken. Toegegeven, dit zijn zware eisen aan de toekomst, omdat ze een grote stap voorwaarts betekenen in de volwassenheid van de mensheid.

KERNFUSIE

Energetisch bruikbare elementen zijn te vinden aan beide uiteinden van het periodiek systeem, tussen de zeer zware en de zeer lichte. De zware atomen kunnen energie produceren door splijting, de lichte door fusie. De grootste hoeveelheden energie komen vrij bij de fusie van waterstof en zijn isotopen (deuterium en tritium) tot heliumatomen.

Rond 1950 leek kernfusie de grote hoop te zijn om een wereldwijde industriële beschaving van overvloedige energie te voorzien. Maar dertig jaar tamelijk intensief werk hebben tot nu toe de technologische haalbaarheid van het tot stand brengen van een duurzame, gecontroleerde thermonucleaire reactie niet kunnen aantonen.

De veiligheidsproblemen die voortvloeien uit kernfusie zijn anders en, naar men zegt, minder ernstig dan die welke gepaard gaan met kernsplijting, maar desalniettemin moeten ze zorgvuldig worden geëvalueerd. Wat de hulpbronnen betreft, kon een vrijwel onbeperkte beschikbaarheid alleen worden bereikt met een kernfusiereactie waarbij geen lithium nodig was, maar gebruik werd gemaakt van deuteriumatomen (D-D-fusie). De lithiumreserves zijn echter voldoende om de productie van energie voor extreem lange perioden mogelijk te maken: net zo lang als voor snelle kweekreactoren op basis van uranium en thorium. Onderzoek naar kernfusie zou hoge prioriteit moeten krijgen, ook al belooft dit pas in de verre toekomst grootschalige ontwikkelingen.

Er zijn twee benaderingen voor gecontroleerde fusie gevolgd: magnetische opsluiting en Inertiële opsluitingsfusie (ICF) in door laser (of elektronenbundel) geïnduceerde micro-explosies. Voor beide ontwikkelingslijnen moeten nog zeer ernstige wetenschappelijke en technologische problemen worden overwonnen. De problemen zijn zo groot dat het vandaag de dag onmogelijk is te voorspellen of duurzame, gecoördineerde kernfusie ooit zal worden gerealiseerd. Het is dus vandaag de dag niet verstandig om enige hypothese te aanvaarden die de beschikbaarheid van fusie-energie vóór de volgende eeuw impliceert.

gaat NIET lukken

Van de vele ingenieuze manieren om fusie door magnetische opsluiting tot stand te brengen, zijn er drie nog steeds veelbelovend: de Theta-pinch, de spiegelmachines en de Tokomak. Bij de Theta-pinch-methode een lange plasma

kolom die een deuterium-tritium-gasmengsel bevat, wordt zijdelings samengedrukt door een plotseling aangelegd, zeer sterk longitudinaal magnetisch veld. In het magnetische spiegelexperiment wordt het plasma opgesloten in een "magnetische put", geproduceerd door een spoel in de vorm van een honkbal- (of tennisbal-)naad. Bij een nieuwe variant wordt de put "dieper gegraven" door het veld van een hoogenergetische elektronen-bundel. In de Tokomak, ontwikkeld door het Kurchatov Instituut in de Sovjet-Unie, heeft het plasma de vorm van een torus en wordt het gestabiliseerd door zware circulerende stromen die in het plasma zelf stromen.

Het "ontstekingspunt" van een deuterium-tritiummengsel is ongeveer 100 miljoen °C. Een tweede criterium voor fusie is dat het product van de dragerdichtheid in het plasma (aantal ionen per $cm^3$) tegen de opsluitingstijd minimaal $10^{15}$ ionen/$cm^3$ moet zijn. Tot nu toe is een Tokomak hier het dichtst in de buurt gekomen, met een getal van $10^{13}$ ionen/$cm^3$ bij een ionentemperatuur van 15 miljoen °C. Dit voldoet niet aan het fusie-criterium met een factor van ongeveer 3000, maar er wordt beweerd dat een grotere machine van hetzelfde type dichter bij dit doel komt, maar nog een factor 200 te kort komt.

Het minimale vermogen voor een installatie die volgens dit principe economisch werkt, wordt op verschillende manieren geschat op 2000-5000 MW. Hoewel de werknemers in dit vakgebied, die deze ontwikkelingen al vele jaren met buitengewone vindingrijkheid nastreven, nog steeds hoopvol zijn, moet worden toegegeven dat fusie door magnetische opsluiting nog lang geen technologische realiteit is. Het hoge-temperatuurplasma is tot nu toe nog niet stabiel ingesloten en we moeten rekening houden met de mogelijkheid dat het ook niet insluitbaar zal zijn in elke stap in de drie ordes van grootte die nog overwonnen moeten worden op weg naar succes.

De tweede benadering, fusie door micro-explosies, is van recentere oorsprong. Het werd geïnspireerd door het vermogen van de moderne gepulseerde laser om in extreem korte tijd enorme lokale energiedichtheden te produceren. Een klein bevroren druppeltje of ijspegel van deuterium-tritium valt door een vacuüm. Verschillende krachtige, gelijktijdig gepulseerde laserstralen worden erop gefocust, waardoor het in ongeveer 1 nanoseconde ($10^{-9}$ sec.) tot een zeer hoge temperatuur wordt verwarmd. Op zichzelf zou dit niet voldoende zijn om fusie op gang te brengen.

De oppervlaktelaag van de korrel, waarin het laserlicht wordt geabsorbeerd, verdampt echter zo snel dat er een enorme druk ontstaat op het oppervlak, waardoor de korrel wordt samengedrukt tot ongeveer 10.000 keer de normale

dichtheid. Deze gigantische dichtheid is voldoende om te voldoen aan het fusiecriterium, met een insluitingstijd van slechts enkele nanoseconden, voordat de hete en dichte plasmabal uit elkaar valt.
Hoewel deze aanpak van plasmafusie bijna 20 jaar na de magnetische opsluiting begon, beweren sommigen dat het al dichter bij succes is. Volgens de meest optimistische berekening zou ongeveer 1000 joule energie, toegepast in ongeveer 1 nanoseconde op een korrel van optimale grootte, voldoende moeten zijn om fusie te initiëren, en de ontwikkeling van lasers heeft dit stadium nog maar net bereikt. Volgens sommige onderzoekers in dit vakgebied is de eerste micro-explosie zeer binnenkort te verwachten. Tot nu toe is het enige waargenomen resultaat een neutronenuitbarsting. Maar de weg van de eerste micro-explosie naar de echte doorbraak kan nog heel lang zijn. De ultraviolette lasers die geschikt zijn voor fusie hebben een rendement van slechts ongeveer 0,5%.

Uitgaande van een efficiëntie van ongeveer 33% bij de omzetting van plasmawarmte in elektrische energie, betekent dit dat het doel bereikt wordt wanneer fusie-energie minstens 600 keer de energie van de laserpuls levert. Het kan zelfs nog langer duren voordat we een werkende fusiecentrale hebben. Denk aan een kleine centrale van 10 MW. Hiervoor zijn ongeveer 10 explosies per seconde nodig, ongeveer een miljoen per dag, elk met een thermische energie van 3 MJ, met de kracht van ongeveer één handgranaat. Zullen een miljoen handgranaat-explosies per dag de optiek zodanig verstoren dat men de laserstraal niet meer precies op de korrel kan focussen zonder fout van een paar micrometer? Zijn sensor- en regelsystemen goed genoeg? Bovendien bestaat er nog geen grote ultravioletlaser die een miljoen pulsen kan afgeven zonder dat onderdelen vervangen hoeven te worden. Kan men de vervangingskosten betalen? Op termijn komen er wellicht bevredigende antwoorden op al deze vragen. Maar voorlopig kan kernfusie nog niet als energiebron voor de toekomst worden beschouwd.

!

Voor de lange termijn moeten we kernfusiereacties van de "tweede generatie" noemen, met een potentieel voordeel ten opzichte van de huidige beschouwde reacties (D - T, D - D). Als vooruitgang in lasertechnologie of elektronen-bundeltechnologie de ontwikkeling van micro-explosiefusiereactoren mogelijk maakt, zou dat de deur openen naar de proton-boor (1H-11B)-reactie. De belangrijkste voordelen van deze reactie zijn de geringe voorraad radioactieve isotopen en de ruime beschikbaarheid van borium in de aardkorst, in de oceanen en in diverse droge meerbodems.

## ZONNE-ENERGIE

Zonne-energie is de meest overvloedige, onuitputtelijke en niet-vervuilende energiebron die de mensheid potentieel ter beschikking staat. De zon zendt bijna 1 kW aan stralingsenergie uit per vierkante meter, en ongeveer 1,7 x $10^{14}$ kW op de hele aardbol, met een vrij gelijkmatige verdeling (zie tabel 7). Deze enorme hoeveelheid energie is ongeveer 500 keer meer dan de 3 x $10^{11}$ kW die eerder werd genoemd als de uiterste en mogelijk onhaalbare energieproductie van een uit de hand gelopen industriële beschaving.

TABEL 7
ZONNESTRAAL OP VERSCHILLENDE BREEDTEGRADEN*

| Location | Latitude | Daily Maxima | | Daily Minima | | Annual Total | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Direct (kWh/m$^2$ day) | Total | Direct (kWh/m$^2$ day) | Total | Direct (kWh/m$^2$ year) | Total |
| Equator | 0 | 6.5 | 7.5 | 5.8 | 6.8 | 2200 | 2300 |
| Tropics | 23½ | 7.1 | 8.3 | 3.4 | 4.2 | 1900 | 2300 |
| Polar circles | 66½ | 6.5 | 7.9 | 0 | 0 | 1200 | 1400 |

* De gerapporteerde zonnestralingswaarden hebben betrekking op ideale weersomstandigheden, d.w.z. heldere dagen. Daarom moeten de totale jaarlijkse stralingswaarden worden beschouwd als maxima, aangezien ze betrekking hebben op een ideaal jaar met heldere dagen. De waargenomen waarden zullen in feite veel lager zijn, vooral op hoge breedtegraden. Als voorbeeld vermelden we de experimentele gegevens van de incidentele totale jaarlijkse straling in enkele steden:

| | | |
|---|---|---|
| Oslo | ~60°N | 1025 kWh/m$^2$ year |
| Minsk | ~50°N | 975 kWh/m$^2$ year |
| Milan | ~45°N | 1045 kWh/m$^2$ year |
| Rome | ~42°N | 1370 kWh/m$^2$ year |

De mens heeft zonne-energie altijd direct gebruikt voor verlichting, verwarming en droging, en indirect, niet alleen door de geaccumuleerde zonne-energie te verbranden in fossiele brandstoffen en hout, maar ook in voedsel, wind- en waterkracht en recentelijk ook in waterkracht-centrale en getijdenenergie. Het direct gebruiken van zonne-energie voor energieopwekking is pas recent en werd tot nu toe op kleine schaal toegepast, meestal in satellieten, afgezien van enkele kleine toepassingen. Er bestond, en bestaat nog steeds, een sterke economische barrière, hoewel de situatie de laatste jaren wel is veranderd.

De onderzoeksinspanning die voortvloeide uit de energiecrisis en de bezorgdheid over het milieu heeft geleid tot een hernieuwde belangstelling voor zonne-energie, met nieuwe ideeën voor het opvangen van invallende zonnestraling en nieuwe financiële inspanningen voor de implementatie van aanzienlijke R&D-programma's. Momenteel zijn wereldwijd een aantal experimentele faciliteiten en proef-installaties in aanbouw en zijn veel van de basisprincipes en -technieken al op onderzoeksschaal gedemonstreerd. Tegelijkertijd zijn verder onderzoek en ontwikkeling en grote inspanningen nodig om technologieën te ontwikkelen die economisch kunnen concurreren met conventionele energiebronnen.

Hoewel een zonne-energie het voordeel heeft gebruik te maken van een gratis en gelijkmatig verdeelde energiebron, kampt het met aanzienlijke operationele problemen. De lage intensiteit van zonne-energie vormt een eerste nadeel, aangezien er grote oppervlakken nodig zijn om de invallende zonnestraling te verzamelen. Zo zou volgens het IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis) voor een elektriciteitsopwekking van 8 TW/jaar, ongeveer het huidige wereldwijde energieverbruik, een totale oppervlakte, inclusief onderhoudsruimte en andere benodigdheden, van ongeveer 0,4 x $10^6$ $km^2$ nodig zijn, ongeveer een honderdste van de totale oppervlakte van droge gebieden in de wereld, of ter vergelijking ongeveer een dertigste van het totale landbouwareaal. Andere problemen ontstaan door de tijdsvariant van zonnestraling, vanwege de dag-nacht-, seizoens- en weerswisselingen. Dit impliceert de noodzaak van een acceptabele vorm van energieopslag of, althans op de middellange termijn, van een back-upsysteem, aangezien elke opslag momenteel duurder lijkt dan een oliebrander.

Zonne-energie kan ook milieuproblemen opleveren. Grootschalig gebruik ervan kan het thermisch evenwicht van de aarde beïnvloeden, omdat de zonnestralen normaal gesproken worden gereflecteerd als langgolvige straling, die vervolgens door de atmosfeer wordt geabsorbeerd. Aangezien echter slechts 80% van de zonnestraling normaal gesproken door de aarde wordt opgevangen en teruggestraald als infraroodstraling (de overige 20% wordt gereflecteerd als langgolvige straling), zouden veranderingen in het thermisch evenwicht van de aarde en in het lokale klimaat alleen optreden als de hoeveelheid vrije energie die door de mens via technologische middelen wordt verzameld, hoger zou zijn dan de bovengenoemde 20%.

Zonne-energie kan op verschillende manieren worden benut. Biologische omzetting kan worden uitgevoerd met behulp van brandstofgewassen, algen, enzymen en door

benutting van huishoudelijk afval (Fig. 18).Technologische omzetting kan worden uitgevoerd door fotovoltaïsche cellen of fotothermische collectoren. Het schema van een fotovoltaïsche cel wordt weergegeven in fig. 19, terwijl fig. 20 een fotothermische energiecentrale illustreert. Een voorstel is om grote zonne-energiecentrales op geostationaire satellieten te monteren en de verzamelde energie via microgolven naar een ontvanger te sturen. De stappen die nodig zijn om deze doelen te realiseren, zijn ongetwijfeld lang en moeilijk.
Zoals gezegd vormen economische kwesties een beperkende factor voor het vroege gebruik van zonne-energie. De belangrijkste barrière zijn de kosten van het opvangoppervlak, of het nu gaat om fotovoltaïsche of fotothermische energie. Fotovoltaïsche cellen moeten 50% goedkoper worden, terwijl fotothermische collectoren 5% goedkoper moeten worden. Door de huidige hoge prijzen is de markt voor zonne-energie beperkt tot afgelegen en laagvermogenstoepassingen. Met een kostenreductie van 5%, wat binnen het bereik van de huidige technologie ligt, kunnen fotovoltaïsche cellen toegang krijgen tot

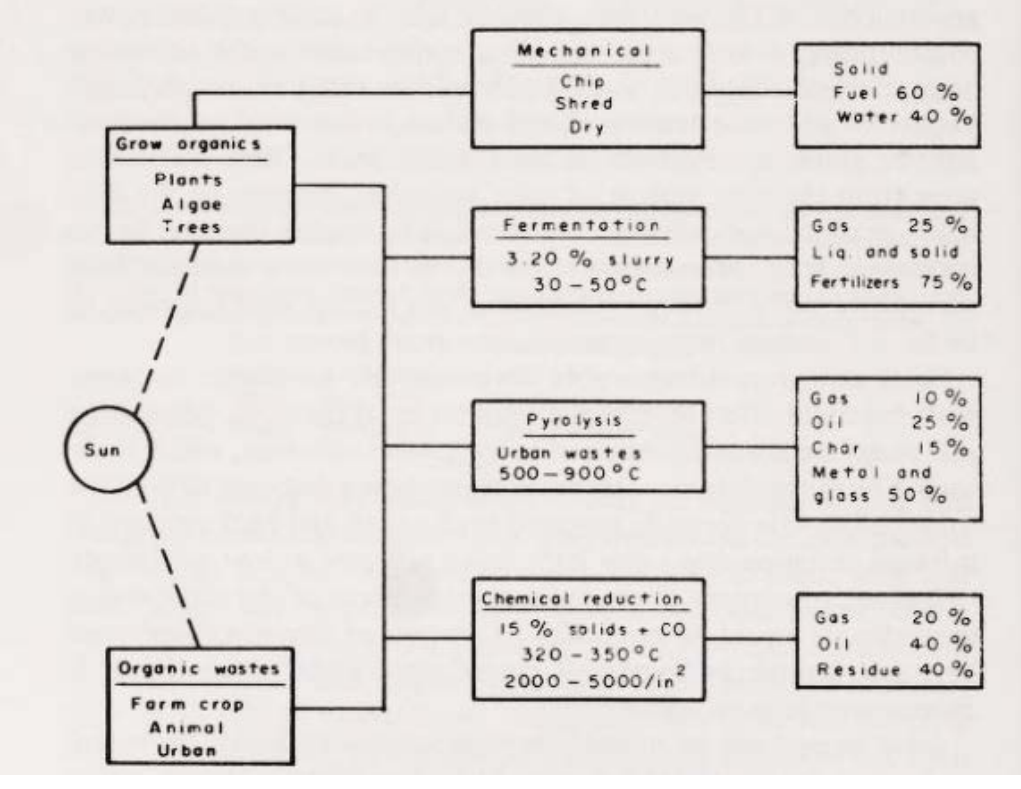



Fig. 18. Biological options for solar energy utilization.

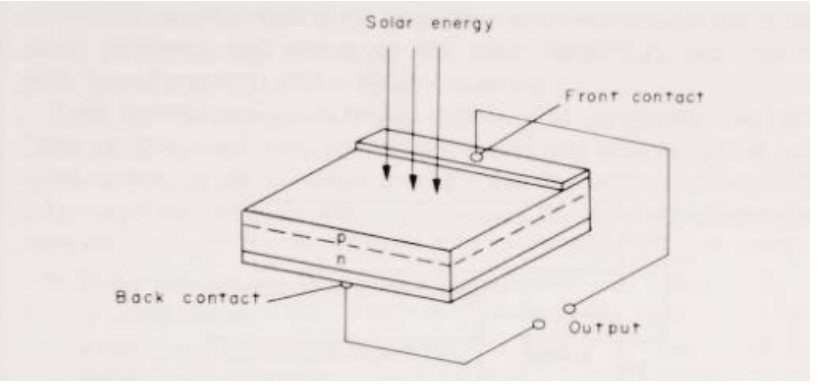



Fig. 19. Opvallende kenmerken van een standaard zonnecel. Een fotovoltaïsche cel wordt een batterij wanneer deze wordt bestraald. Deze bestaat in wezen uit een sandwich van twee halfgeleiderlagen, met een dunne overgangslaag ertussen; aan de onderkant een N-type laag, waarin de belangrijkste dragers elektronen zijn, en aan de bovenkant een P-type laag, met positieve gaten als dragers. De N-type laag moet absorberend zijn, de P-type laag transparant voor straling. De fotonen geven elektronen vrij in de N-laag en geven ze voldoende energie om de potentiaalbarrière te overwinnen. Ze diffunderen in de P-type laag, van waaruit ze via de externe belasting terugkeren naar de N-laag. De open-circuitspanning van fotovoltaïsche cellen is meestal minder dan een halve volt, terwijl de gemiddelde energie van zonnefotonen ongeveer 2 elektronvolt bedraagt. Daarom is het maximale theoretische rendement van fotovoltaïsche cellen ongeveer 25%.

In de praktijk zijn twee soorten fotovoltaïsche cellen succesvol gebleken: (1) de monokristallijne siliciumcel, die normaal gesproken wordt gebruikt voor de stroomvoorziening van satellieten en in telecommunicatiesystemen op afgelegen locaties en die een rendement tot 20 % heeft bereikt, en (2) de dunne-film-cel van cadmiumsulfide, die slechts een rendement van 5 % heeft, maar kan concurreren met de siliciumcel en veelbelovend is vanwege de zeer lage productiekosten.

Op laboratoriumschaal heeft de recentere enkelkristalcel van galliumarsenide, die duurder is om te produceren, een rendement van 26 % bereikt. Ook polykristallijne siliciumcellen, heterojunctiecellen en elektrochemische fotovoltaïsche cellen worden onderzocht. Concentratiesystemen, die zonlicht op een kleiner deel van de cel richten, krijgen steeds meer aandacht en zouden uiteindelijk de eerste optie kunnen zijn om concurrerende kosten te bereiken.

Er zijn een aantal obstakels die de ontwikkeling van een effectieve cellen-serie in de weg staan, waaronder een eenvoudig mechanisch obstakel, namelijk het ontwerpen van spiegels en cellen in een compacte groep die gemakkelijk kan worden gedraaid.

de markt voor vakantiehuizen en de elektrificatie van dorpen. De ontwikkeling van grootschalige productiefaciliteiten met een hoge mate van automatisering zou de kosten van zonne-energie waarschijnlijk binnen het kostenbereik van andere energieopties kunnen brengen, voor huishoudelijke en commerciële stroomopwekking. Het is belangrijk op te merken dat biologische methoden gepaard gaan met

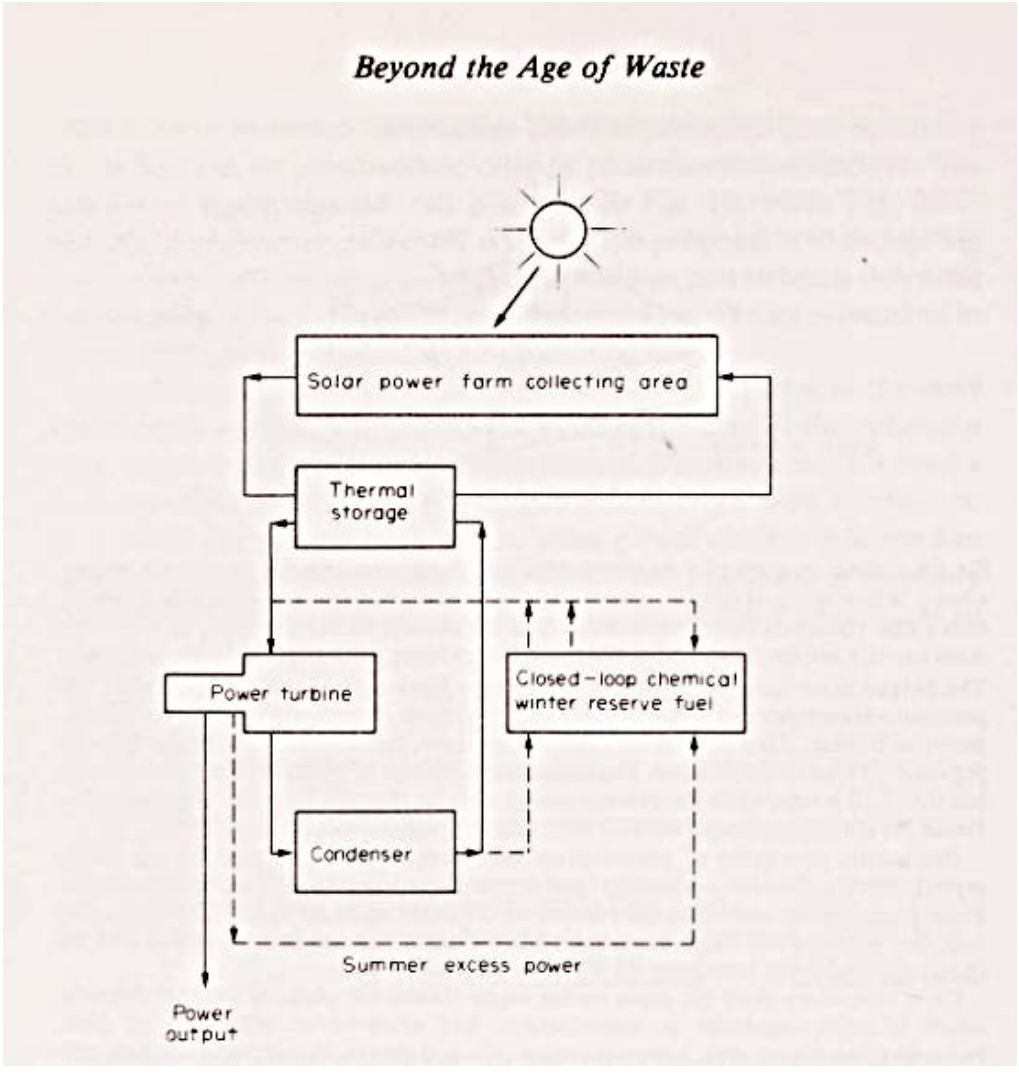



Fig. 20.

Operationeel diagram voor een fotothermische zonne-energiecentrale. Het diagram illustreert de belangrijkste componenten van een fotothermisch elektrisch vermogen systeem. Het verzamelgebied kan op verschillende manieren worden geconstrueerd, variërend van kleine concentrators voor conversie bij hoge temperatuur tot zoutwatervijvers op zonne-energie voor conversie bij lage temperatuur. Er wordt voorgesteld energie op te slaan vóór conversie, maar opslag na conversie door middel van hydro-opslag of batterijen is ook mogelijk. Het Tabor zout-vijver-systeem combineert de rol van opvang en warmteopslag. De jaarlijkse variatie in de beschikbaarheid van zonne-energie brengt een ernstig operationeel nadeel met zich mee, waardoor waarschijnlijk een vorm van back-up van winterenergie vereist is. Dit schema toont het gebruik van overtollige zomerenergie om een reservebrandstof te produceren die kan worden opgeslagen, zoals waterstof, maar exotische energieopslagmedia zoals korrelig aluminium lijken het bestuderen waard. Het langetermijndoel van zonne-energie is om te voorkomen dat we afhankelijk zijn van fossiele brandstoffen of elektriciteit als reserve-energie, maar het gebruik ervan kan onvermijdelijk zijn in alle vroege zonne-energieprojecten.

directe concurrentie met de productie van voedsel en vezelgewassen om bouwland, meststoffen en water; aan de andere kant kunnen ze landbouwprocessen en het gebruik van residuen verbeteren.

Onderzoek naar thermische zonne-energieconversie lijkt te convergeren op drie basisopties, elk met voor- en nadelen. Er bestaat geen ideale optie, dus de keuzes zijn afhankelijk van de mening van de besluitvormers over de voordelen die ermee gepaard gaan. In volgorde van toenemende bedrijfstemperatuur zijn dit:

*1. Zoute zonnevijvers (lage temperatuur)*

*T* = 90-100°C.

Continu werkingsvermogen.

Efficiëntie=3-5%

De zonnevijver (ontwikkeld door Tabor in Israël) werkt door zonlicht te absorberen op de bodem van een vijver van 0,5 tot 2 meter diep, waarin een sterke verticale zoutgradiënt thermische convectie onderdrukt, waardoor de onderste laag wordt verwarmd tot 100 ° C en meer. Er wordt gebruik gemaakt van lagedruk (subatmosferische) organische stoomturbines. Het rendement is laag vanwege de lage temperatuur, maar de kostenefficiëntie kan hoog zijn vanwege de lage bouwkosten.

Israël heeft onlangs een prototype-installatie in gebruik genomen die gebruik maakt van het brakke water van de Dode Zee en die 150 kW elektriciteit opwekt, naar verluidt tegen een kostprijs die gelijk is aan die van een waterkrachtcentrale.

*2. Niet-concentrerende collectoren (gemiddelde temperatuur)*

*T* =150-200°C.

Mogelijkheid tot continu gebruik.

Efficiëntie = 10-15 %

De niet-concentrerende collector, gekenmerkt door de 'vlakke plaat', zet zonne-energie om in thermische energie om een vloeistof, meestal water, te verwarmen. Water onder druk biedt een goedkoop medium voor warmteoverdracht en thermische opslag, waardoor deze optie, in combinatie met de ongevoeligheid van de collector voor bewolking, het hele jaar door zonder back-upenergie kan werken.

3. *Concentrating collectors (high temperature)*

*T* = 500-1000°C.

intermitterend (onregelmatig: dag/nacht) werkend.
Efficiëntie = 20-40%

De concentrerende collector focust zonlicht op een speciale ketel, met fluxconcentraties variërend van 20 tot 50 voor een "line focus" collector tot 500-10.000 voor een "point focus" collector. Het 'power tower'-concept bestaat uit een veld van spiegelheliostaten die zonlichtstralen richten op een ketel van 50 tot 200 meter hoog op een centrale toren.

De relatieve efficiëntie en bedrijfsuren per jaar bepalen onmiddellijk de stijging van de systeemkosten per oppervlakte. Zo kan men de kosteneffectiviteit van het meer geavanceerde ontwerp vergelijken met die van de zonnevijver.

Een eerste prototype van een dergelijke energiecentrale, met een elektrisch vermogen van 1 MW, is regelmatig op het net aangesloten. De fabriek (Eurelios) is gerealiseerd in Adrano (Sicilië) in het kader van een multinationale Europese samenwerking gepromoot door de EEC.

Energieopslag is essentieel voor het omgaan met intermitterend zonlicht. Er zijn veel manieren van opslag mogelijk, zowel vóór als na de conversie, maar er is veel meer technische evaluatie nodig om te zien welke, indien aanwezig, de intermitterende kloof bij de conversie van zonne-energie kan overbruggen. In het evalueren van energieopslag, zoals bij andere aspecten van de conversie van zonne-energie, moet men de uiteindelijke ernst van de economische beperkingen op technologische oplossingen onderkennen. Beperkte mondiale onderzoeksmiddelen kunnen gemakkelijk worden besteed via wetenschappelijke wegen die in werkelijkheid geen mogelijke economische voordelen bieden. Een betere definitie van gebieden in de wetenschap waar ultieme economieën kunnen worden gevonden, zou nuttig zijn.

Bij gebrek aan energieopslag met hoge capaciteit tegen aanvaardbare kosten, moet de conversie van zonne-energie afhankelijk zijn van een bron van fossiele brandstoffen als back-upenergie. Vertrouwen op reserve-energie kan ernstige gevolgen hebben voor kapitaal, brandstofbronnen, brandstofopslag en -levering. Het is belangrijk om deze problemen al vroeg in de evaluatie van zonne-energieproblemen in overweging te nemen. Als de geproduceerde stroom echter rechtstreeks aan een onderling verbonden elektriciteitsnet wordt geleverd, zou de intermitterende werking van zonne-energiecentrales geen enkel probleem opleveren, zolang de geproduceerde stroom slechts een klein deel van de totale kosten vertegenwoordigt.

Zonne-energie in de eenvoudige vorm van warmte zou in een vroeg stadium aardgas en stookolie voor ruimte-verwarming gedeeltelijk kunnen vervangen, aangezien er geen grote technologische problemen bestaan. De ontwikkeling van commerciële producten

want deze markt zou een primair doel van de industrie moeten zijn. Op deze basis zouden zich op natuurlijke wijze andere zonne-energie-eenheden kunnen ontwikkelen. Zonne-energie voor koeling en ruimteconditionering lijkt het tweede gebied voor de energiemarkt te zijn, en zou een gemakkelijke uitbreiding van de verwarmingsmarkt zijn. Dit zou niet alleen voldoen aan de lokale energiebehoeften, maar ook de kennis over het gebruik van zonne-energie bevorderen. Een schema voor het verwarmen en koelen van woningen op zonne-energie wordt getoond in figuur 21.

Zonne-energie voor individuele gebouwen is in principe aantrekkelijk. omdat zonne-energie redelijk gelijkmatig over de hele aarde wordt geleverd. Dit eenvoudige concept wordt gecompliceerd door een aantal factoren. Het belangrijkste is dat sociale acceptatie gebaseerd is op de wens van de technologische samenleving om diensten te laten verrichten. De acceptatie van verandering door de samenleving is het meest waarschijnlijk wanneer verandering het minste effect heeft op de manier waarop mensen leven en denken. Levering van zonne-energie aan gebruikers via de traditionele wegen van elektrische energie of transporteerbare brandstof zou sociaal wenselijk zijn, maar het zou economisch gunstiger kunnen zijn om de inzameling op de plaats van eindgebruik te laten plaatsvinden. De aanvaarding van onafhankelijke inzamelingswijzen zal afhangen van de mate waarin de gebruiker persoonlijk verlost is van de problemen van de financiering van installatie en onderhoud.

Het is een grote uitdaging om de rol van zonne-energie in elektrische energie, in de waterstofeconomie en in de chemische industrie te ontwikkelen. Opkomende technologieën lijken deze doelstellingen te kunnen verwezenlijken en de technologie moet binnenkort worden getest om de vooruitzichten in deze sectoren realistisch te beoordelen. Onderzoek naar het directe gebruik van de fotonen van de zon voor de productie van waterstof of organische materialen moet worden aangemoedigd als een nieuwe manier om energie of brandstofomzetting te bewerkstelligen. Een dergelijk ambitieus doel zou inhouden dat in een industriële fabriek het proces wordt gereproduceerd dat van nature plaatsvindt in velden en bossen.

Er is voorgesteld zonnestraling te onderzoeken door de groei van planten of algen, die chemisch of biologisch in vloeibare brandstoffen worden omgezet. Dergelijke opties zijn in algemene termen niet praktisch. maar voor specifieke regio's worden interessante oplossingen overwogen.

Brazilië heeft bijvoorbeeld een nationaal plan (Proalcohol) gelanceerd voor de ontwikkeling van de binnenlandse productie van ethylalcohol, verkregen door een fermentatieproces van suikerriet en resterende melasse, of secundair uit cassave, door hydrolytische omzetting in glucose van het aanwezige zetmeel en fermentatie van glucose in alcohol.

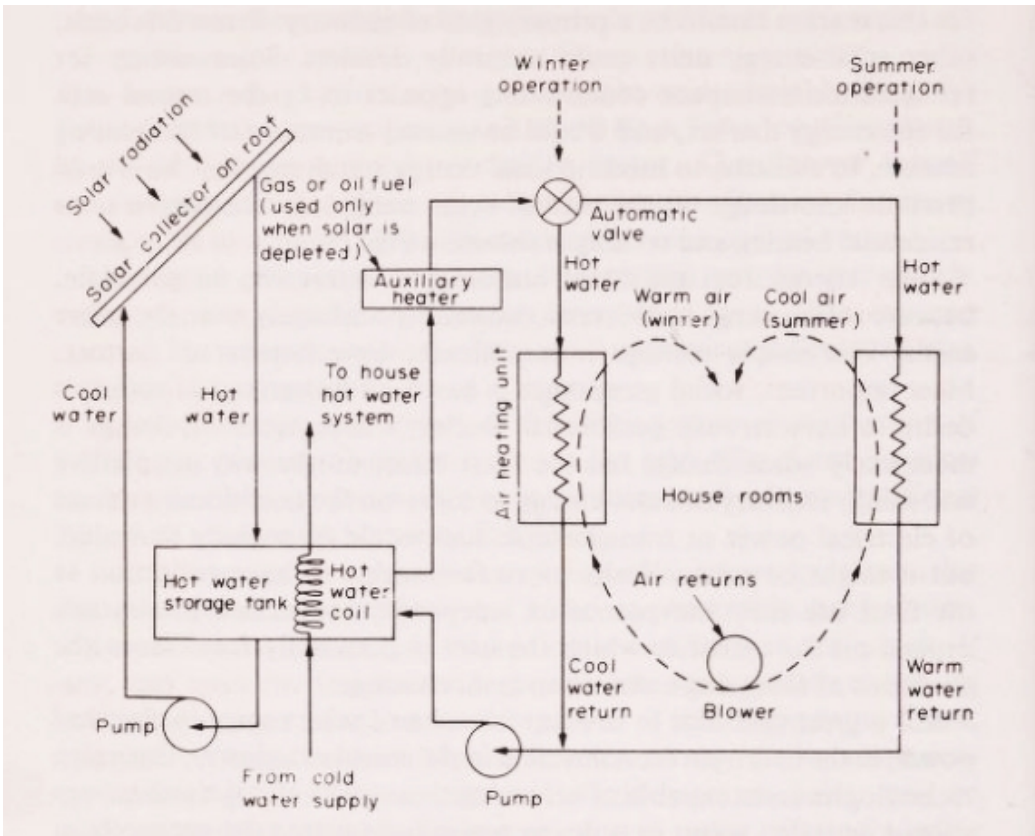



Fig. 21. Verwarming en koeling van woningen met zonne-energie. Dit schema toont de essentiële componenten van een zonneverwarmings- en koelsysteem voor gebouwen.

De zonnecollector verwarmt water dat naar een warmwatertank wordt gestuurd. Niet drinkbaar water wordt gebruikt, omdat het in een winter-nacht niet mag bevriezen in de zonnecollector. Het warme water voor huishoudelijk gebruik wordt verwarmd via een spiraal in de opslagtank. Als het water niet warm genoeg is, wordt bij-verwarming op fossiele brandstof ingeschakeld. Het verwarmde water wordt vervolgens rechtstreeks naar een luchtwarmtewisselaar en ventilator geleid om warme lucht in het gebouw te verspreiden. Als alternatief kan het verwarmde water worden omgeleid naar een gasabsorptiekoelunit, die gekoelde lucht uit warmtewisselaarspoelen en ventilatoren in het gebouw blaast. Het gekoelde water wordt teruggevoerd naar een koelere zone in de opslagtank voordat het door de zonnecollector wordt gepompt.

De huidige verwarmings-/koelsystemen lijken in staat te zijn om 40 tot 60% van de behoeften via zonlicht te leveren, dus er is gedurende het jaar een aanzienlijke hoeveelheid reserve-energie nodig. Een voldoende grote thermische opslag voor gebruik gedurende het hele jaar (seizoensopslag) is in principe mogelijk, maar is nog niet economisch haalbaar, terwijl warmwateraccumulatoren voor opslag voor enkele dagen al op de markt verkrijgbaar zijn.

Om de olie-import te verminderen en tegelijkertijd de groei van de suiker- en chemische industrie te bevorderen, voorziet de Braziliaanse regering in een vervanging door ethanol van 20% van het totale benzineverbruik in het land en in de commercialisering van 16% nieuwe auto's die volledig op ethylalcohol rijden. Momenteel is de eerste taak volbracht, terwijl binnenkort enkele honderdduizenden aangepaste of nieuwe auto's op hydraat-ethanol (96% azeotroop mengsel) zullen rijden.

In de Verenigde Staten zijn enkele grote oliemaatschappijen, na de gunstige marktacceptatie in de staat Nebraska van gasohol (een mengsel van 10% ethanol en 90% benzine, waarbij de ethanol wordt geproduceerd uit relatief goedkoop graan-afval), begonnen met de verkoop van loodvrije gasohol voor testmarketing in andere staten.

Ander interessant nieuws betreft een recente ontdekking van Melvin Calvin. *Euphorbia tirucalli*, een plant uit de rubberfamilie die typisch is voor half-droge gebieden, produceert een latex die rijk is aan koolwaterstoffen ( ~ 30%) en die kan worden afgescheiden en gebruikt als grondstof voor organische chemicaliën.

Hoewel de tijdschaal voor de implementatie van deze geavanceerde technologieën veel langer is dan voor verwarming en koeling, moeten er testopstellingen en demonstratie-eenheden worden gebouwd om zo snel mogelijk antwoord te geven op fundamentele vragen.

Zonne-energie roept politieke vragen en problemen op het gebied van regelgeving op. Deze moeten in een vroeg stadium worden aangepakt, aangezien het even lang kan duren om ze op te lossen als om technologische vraagstukken op te lossen. In eerste instantie kan het duurder zijn om deze energiebron in te voeren dan om fossiele brandstoffen te blijven gebruiken. Daarom moet de potentiële gebruiker van zonne-energie een stimulans krijgen om het kostenverschil te overbruggen. Als er één prijs per thermische eenheid zou worden vastgesteld, ongeacht de energiebron, zou een gebruiker van zonne-energie indirect worden gesubsidieerd ten koste van de gebruiker van fossiele brandstoffen. Geleidelijk aan zou een groeiende markt helpen om de kosten van zonne-energie te verlagen totdat deze gelijk zijn aan die van andere brandstoffen.

De sleutel tot een vroege benutting van zonne-energie lijkt te liggen in een aanzienlijke toename van overheidssteun, die nu gelukkig in verschillende landen op gang komt, hetzij in de vorm van directe subsidies aan de industrie, hetzij in de vorm van garanties voor investeringen in deze nieuwe, potentieel belangrijke industrie.

Er zijn verschillende problemen verbonden aan de toepassing van zonne-energie in eenvoudige en economische installaties en apparaten om te voorzien

in veel basisbehoeften aan energie van gemeenschappen in de plattelandseconomieën van ontwikkelingslanden. Er is veel belangstelling voor het gebruik van zonne-energie voor zonnekooktoestellen, pompen, waterverwarmers, waterontzilters, enz. Voor deze doeleinden lijkt zonne-energie beter geschikt te zijn voor het gedecentraliseerde vraagpatroon dat kenmerkend is voor plattelandsgebieden in ontwikkelingslanden, dan andere bronnen waarvoor complexe en dure technologie nodig is.

## GEOTHERMISCHE ENERGIE

Geothermische energie is een overvloedige natuurlijke hulpbron, die goedkoop is in de gebieden waar ze nu wordt gewonnen. Het volledige potentieel ervan is nog niet ontwikkeld. Momenteel voorziet ze slechts in een fractie van de wereldwijde energiebehoefte (zie figuur 22). Van de nieuwe energiebronnen lijkt geothermische energie, naast kernenergie, het grootste reële potentieel te hebben om snel bij te dragen aan de toekomstige energiebehoefte van de wereld. De geavanceerde staat van de reeds geconsolideerde technologieën

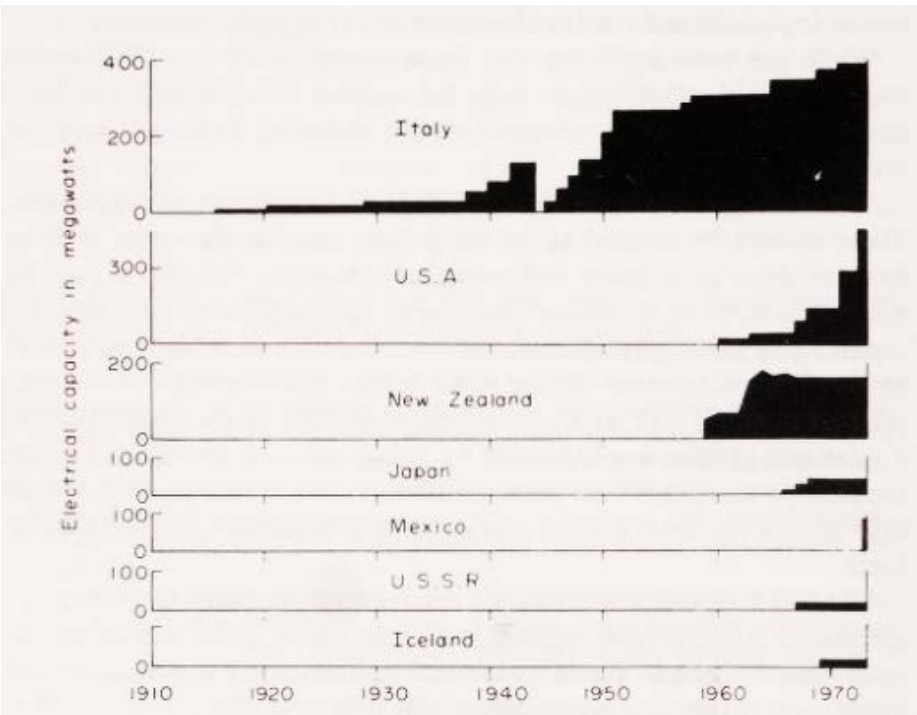



Fig. 22. Groei van de geothermische opwekkingscapaciteit per land (Bron: U.S.G.S. Prof. Paper 820 (1973).)

zou het zelfs vandaag de dag mogelijk maken om deze vorm van energie in grotere mate te exploiteren.

Er zijn talrijke prognoses gepubliceerd over het potentieel van geothermische energie, maar deze zijn vaak te optimistisch. Zelfs conservatieve schattingen zijn twijfelachtig, aangezien we momenteel nog maar aan het begin staan van de moderne geothermische industrie. Het staat echter vast dat de potentiële geothermische bronnen enorm en onderontwikkeld zijn en dat de technologie om een deel daarvan tegen concurrerende kosten te benutten al beschikbaar is. Het is interessant om op te merken dat de exploratie- en boortechnieken die al door de aardolie-industrie worden toegepast, grotendeels ook voor geothermische energie kunnen worden gebruikt.

Figuur 23 toont de stand van zaken op het gebied van wereldwijd onderzoek naar en exploitatie van geothermische energie. De ontwikkeling van deze energiebron is vertraagd door onwetendheid, gebrekkige wetgeving en een gebrek aan creatief denken. De afgelopen jaren is de belangstelling voor geothermische energie echter aanzienlijk toegenomen. Ook ontwikkelingslanden zijn zeer geïnteresseerd in dit type energie, omdat ze veel minder technologisch afhankelijk zouden zijn van geavanceerde landen als ze geothermische energie zouden kunnen gebruiken in plaats van kernenergie.

Voor energieopwekking worden momenteel reservoirs met geothermische droge stoom geëxploiteerd. Er zijn exploratie- en exploitatietechnieken ontwikkeld en er zijn geen grote technologische problemen ondervonden bij de lopende projecten. De exploitatie van deze vorm van energie op grote schaal zou aanzienlijke voordelen bieden gezien de lage productie- en investeringskosten en de beperkte milieu- en vervuilingsproblemen. De schattingen van het reservepotentieel van droge stoom zijn groot, maar er is meer nauwkeurig onderzoek nodig naar de verspreiding en omvang ervan.

Een andere belangrijke geothermische vloeistof is heet water, dat ook veel voorkomt in gebieden zonder warmwaterbronnen. Heet water met een temperatuur tussen 50 en 100 °C kan in veel sectoren worden gebruikt als goedkope energiebron. Voor de exploitatie ervan is geen grote kapitaalinvestering nodig. Winstgevende toepassingen variëren van energieproductie tot ruimteverwarming, verwarming van kassen en andere agrarische toepassingen zoals hydrocultuur, bodemverwarming en het invriezen van voedsel. Andere toepassingen zijn te vinden in de mijnbouw (bijvoorbeeld diatomietwinning in IJsland) en in de industrie (bijvoorbeeld papierfabrieken in Nieuw-Zeeland). De exploitatie van warm

A △ indicates the countries in which geothermal power plants are in operation.
A ● indicates the countries in which geothermal fluids are used for heating, agricultural and industrial purposes.
A ○ indicates the countries in which research is under way.

Fig. 23. State of world geothermal research and exploitation.
(After T. Leardini, *Geothermal Power*, Roy. Soc. Meeting, 15 Nov. 1973.)

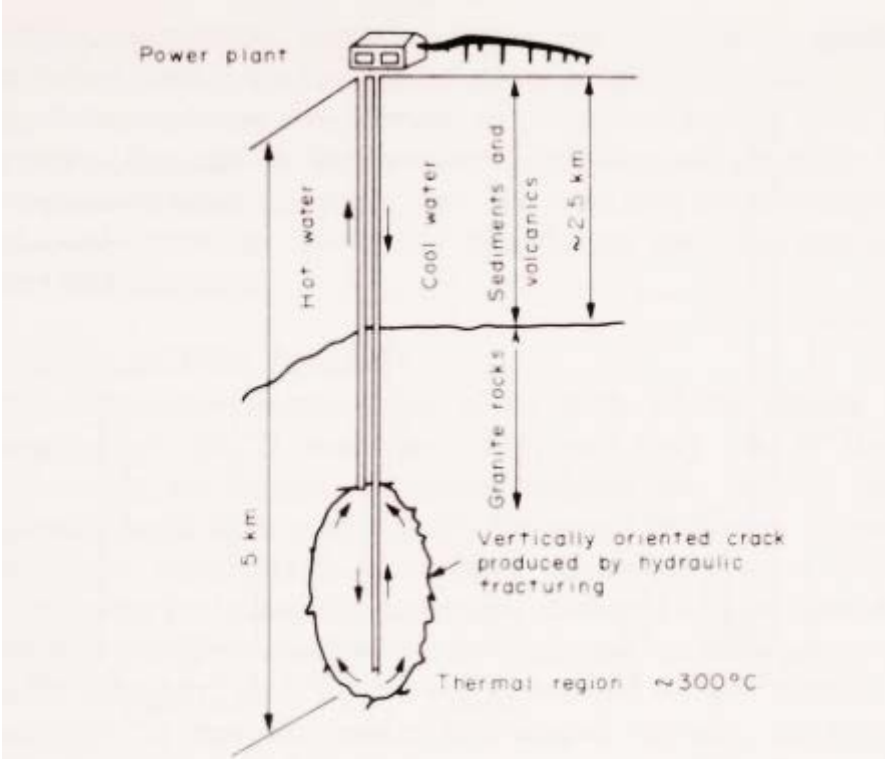



Fig. 24. Schema van het hydrofractureringssysteem voor het winnen van warmte uit hete gesteenten. (Bron: Science, 5 oktober 1973, p. 43.)

water op grote schaal vereist a*d-hoc* wetgeving en technologische vooruitgang, met name in verband met warmte-uitwisseling en corrosieproblemen door zout water, en daarmee samenhangende ontwikkelingen in de materiaaltechnologie.

Er zijn gunstige vooruitzichten op middellange tot lange termijn voor de winning van geothermische energie uit geodrukte sedimentaire bekkens. Deze bekkens zijn uitgestrekte sedimentaire gebieden waar de waterdruk sneller is gestegen dan de hydrostatische druk, wat heeft geleid tot abnormaal hoge drukken op grote diepte. De hoeveelheid energie die uit deze diepe wateren kan worden gewonnen, is zeer groot. Momenteel worden er experimenten uitgevoerd in Mexico.

Aanzienlijke potentiële geothermische energie kan worden vertegenwoordigd door hete rotsen, zonder een natuurlijk watersysteem, maar met een abnormale thermische gradiënt. Dergelijke reserves zijn geografisch wijd verspreid over de planeet. Experimenten bevinden zich nog in een vroeg stadium. Daarom is een volledige evaluatie van de technische problemen die zich kunnen voordoen en de daaruit voortvloeiende

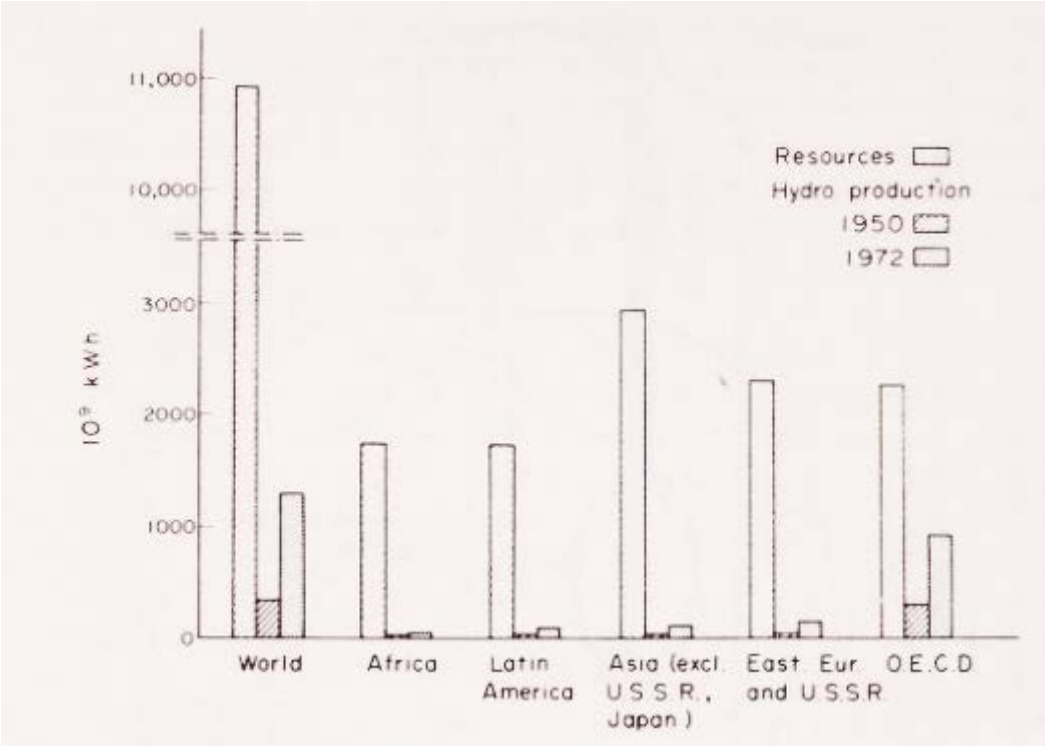



Fig. 25. Hydraulische hulpbronnen en productie.

uiteindelijke kosten van gewonnen energie zijn moeilijk in te schatten. Een van de systemen die wordt onderzocht voor het winnen van energie uit een droog geothermisch reservoir is weergegeven in Fig. 24. Een belangrijk kenmerk hiervan is het gebruik van hydrofracturering, een techniek die in de aardolie-industrie algemeen bekend is voor het 'stimuleren' van reservoirs en daarmee het verbeteren van de productiesnelheid. Bij deze methode wordt water onder druk gebruikt om een systeem van breuken in gesteente te creëren dat geen water lekt zolang de druk gehandhaafd blijft. Bij deze methode wordt koud water naar de bodem van het breuksysteem gepompt en wordt aan de bovenkant heet water of stoom gewonnen. De hete vloeistof wordt vervolgens gebruikt voor elektriciteitsopwekking of andere doeleinden en het afgekoelde water wordt teruggevoerd naar het breuksysteem om opnieuw te worden verwarmd.

De warmte die is opgeslagen in de aardmantel vertegenwoordigt het grootste en langstdurende potentieel voor geothermische energie. Er is echter weinig kennis en ervaring met betrekking tot het gebruik ervan.

Samenvattend is het de moeite waard om onderzoek naar geothermische energie te ondersteunen om zo snel mogelijk een evaluatie van het potentieel ervan te kunnen maken. Het benodigde

wetenschappelijke onderzoek omvat: de studie van de geologie van diepe bekkens, waar sommige van de verschijnselen waarvoor wij belangstelling hebben zich voordoen; de ontwikkeling van een wereldwijde databank over de geothermische flux en de geothermische gradiënt; en de studie van nieuwe boor- en productietechnieken. Wij moeten ook rekening houden met wettelijke voorschriften inzake geologisch onderzoek en de exploitatie van geothermische energie.

## WATERKRACHT

Waterkracht is goed voor ongeveer 20% van de elektriciteitsproductie van de OESO-landen (1975) en slechts 5% van de totale wereldwijde energieproductie. Schattingen wijzen erop dat de kloof tussen technisch exploiteerbare en daadwerkelijk benutte waterkrachtbronnen vrij groot is, vooral in ontwikkelingslanden. Dit blijkt uit figuur 25, waarin de technisch exploiteerbare bronnen en de waterkrachtproductie (1972) voor de wereld en de belangrijkste geo-economische regio's worden weergegeven. Aangezien de groei van de vraag naar elektriciteit echter veel hoger is dan de groei van de waterkrachtcapaciteit, zal het percentage elektriciteit dat door waterkracht wordt opgewekt naar verwachting in de loop van de tijd afnemen.

Aangezien waterkracht echter een hernieuwbare energiebron is en verschillende milieuvoordelen biedt ten opzichte van andere bronnen (waterkrachtcentrales veroorzaken geen chemische of thermische veranderingen in het gebruikte water of de lucht), moet alles in het werk worden gesteld om het gebruik van waterkrachtbronnen buiten de huidige grenzen uit te breiden, met name in de ontwikkelingslanden. Bovendien hebben waterkrachtcentrales nog andere gunstige effecten, omdat ze vaak worden gecombineerd met andere vormen van watergebruik (irrigatie, binnenvaart, drinkwater- of industriële watervoorzieningssystemen).

Waterkrachtcentrales bestaan uit vaak enorme constructies die soms de natuurlijke stroming van het water aanzienlijk veranderen en daardoor het geologische, klimatologische en ecologische evenwicht kunnen beïnvloeden. Een rationeel ontwerp van de installatie beperkt echter het effect op het milieu, dat bovendien niet altijd ongunstig is.

## ORGANISCH MATERIAAL EN AFVAL

Er is recentelijk enige belangstelling ontstaan voor de omzetting van natuurlijke

hernieuwbare materialen zoals planten en algen, door middel van chemische of biologische processen omzetten in synthetische brandstoffen. Zo wordt bijvoorbeeld beweerd dat de teelt van slechts enkele procenten van het landoppervlak van de Verenigde Staten voldoende organisch materiaal zou opleveren om aan de elektriciteitsbehoefte van dat land te voldoen. Dergelijke voorstellen moeten zorgvuldiger worden beoordeeld, waarbij rekening moet worden gehouden met problemen zoals concurrerend gebruik van land voor landbouw, hoge grondkosten en kosten voor het verzamelen, vervoeren en verwerken van planten.

De situatie is heel anders in veel ontwikkelingslanden, waar de directe verbranding van hout vaak nog steeds de belangrijkste energiebron voor huishoudelijk gebruik is. We komen hierop terug in de volgende paragrafen.

Realistischer en interessanter zijn de terugwinning en het gebruik van organisch afval en stedelijk afval voor energieproductie. In dichtbevolkte stedelijke en agrarische regio's zijn deze materialen in toenemende mate beschikbaar en vormen ze een grote bron van vervuiling die sanitaire en milieuproblemen veroorzaakt, omdat ze tegen redelijke kosten op adequate wijze moeten worden verwijderd.

Vast afval en huisvuil kunnen daarom in sommige regio's een belangrijke potentiële energiebron vormen; de gemiddelde productie (in de residentiële en commerciële sector) in de meeste industrielanden bedraagt 0,5 tot 2 kg/dag per hoofd van de bevolking. Gemeentelijk afval bevat verschillende bruikbare materialen (papier, metalen, glas) die afzonderlijk moeten worden ingezameld om maximaal te kunnen worden benut. Een deel van de restmaterialen kan op adequate wijze worden verwerkt tot waardevolle organische meststoffen. De problemen houden hier verband met de optimale organisatie en het beheer van de inzameling en scheiding van afval.

Verbranding is het conventionele proces voor de behandeling van gemeentelijk afval en energieterugwinning, waarbij de verbrandingswarmte wordt gebruikt voor de productie van stoom en uiteindelijk elektriciteit. Gemiddeld levert 2 kg afval 1 kWh elektriciteit op. In sommige gevallen kan het handig zijn om dit proces te gebruiken voor het directe gebruik van stoom voor stadsverwarming of industriële processen.

Afhankelijk van de aard en eigenschappen van het afvalmateriaal worden verschillende chemische en biologische omzettingsprocessen naar synthetische brandstoffen bestudeerd, zoals pyrolyse (een destructieve destillatie in een zuurstofvrije atmosfeer bij temperaturen boven 500 °C), hydrogenering (een katalytisch proces met water en koolmonoxide bij ongeveer 350 °C) en

anaërobe fermentatie. Al deze processen bevinden zich nog in een pril stadium van ontwikkeling en vereisen onderzoek om de opbrengsten te verbeteren en de kosten te verlagen.

Ook de verwijdering van vloeibaar afvalwater vormt een probleem dat kan worden verholpen door chemische en/of biologische behandeling, waardoor waardevolle producten zoals brandstofgas worden verkregen.

Een speciaal geval is het fermentatieproces van dierlijk afval, waarbij brandstofgas wordt verkregen. Dit is interessant voor zowel grote fabrieken, waar het materiaal zich in grote hoeveelheden ophoopt, als voor dorpen of de derde wereld, waar dierlijke mest nog steeds een belangrijke brandstof is voor de basisbehoeften van de samenleving.

## BRANDHOUT EN ANDERE TRADITIONELE ENERGIEBRONNEN

Bij discussies over het energieprobleem wordt over het algemeen onvoldoende rekening gehouden met de traditionele hernieuwbare materialen die in de meeste ontwikkelingslanden belangrijke energiebronnen zijn, maar waarvan het gebruik in de geïndustrialiseerde landen tot zeer kleine hoeveelheden is teruggebracht. Voor ongeveer een derde van de wereldbevolking zijn brandhout, dierlijke mest en landbouwafval de belangrijkste brandstoffen voor koken en ruimteverwarming. In India dekken deze energiebronnen, die voornamelijk niet-commercieel zijn, 48% van de nationale behoefte (31% alleen al met brandhout).* In veel gebieden bedraagt het jaarlijkse verbruik van hout als brandstof *per hoofd van de bevolking* ongeveer 1 ton.

De hoge bevolkingsgroei in de ontwikkelingslanden, in combinatie met de economische moeilijkheden om kerosine of andere energiebronnen te leveren aan de armen op het platteland, hebben geleid tot een zeer sterke druk op de vraag naar brandhout, dat wordt verbruikt in een tempo dat hoger ligt dan de biologische capaciteit van bosvernieuwing. In de praktijk vindt er in grote delen van India, Centraal-Afrika en Latijns-Amerika een proces van ernstige ontbossing plaats. Deze situatie heeft dramatische gevolgen voor het milieu, aangezien ontbossing gepaard gaat met bodemdegradatie, wat leidt tot een nettoverlies aan productieve grond.

Vooral in gebieden waar de voorraad brandhout ontoereikend is, gebruiken mensen dierlijke mest als vervanging, waardoor landbouwgrond wordt beroofd van

---

* S. Parikh, *Workshop on Energy Demand*,
IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis), Mei 1975.

een essentiële toevoer van voedingsstoffen en organisch materiaal. Dit is een andere oorzaak van de afnemende vruchtbaarheid van de bodem, met negatieve gevolgen voor de toch al moeilijke voedselsituatie in de arme gebieden van de wereld.

De voor de hand liggende oplossingen voor deze problemen zijn het opzetten van grootschalige boomplantprogramma's en het stimuleren van het gebruik van alternatieve brandstoffen. De boomplantcampagnes worden belemmerd door economische problemen en door organisatorische moeilijkheden die voortvloeien uit de noodzaak om gedurende meerdere jaren ter plaatse toezicht te houden. Bijgevolg vorderen deze programma's traag en mislukken ze soms zelfs. Vanuit strikt technisch oogpunt zou er meer onderzoek moeten worden gedaan naar bomen met een hoge fotosynthese-efficiëntie bij het gebruik van zonne-energie, die een veel hogere opbrengst opleveren dan de conventionele brandhoutsoorten voor droge en half-droge gebieden. Uiteraard moet ervoor worden gezorgd dat het planten van bomen plaatsvindt op grond die grotendeels ongeschikt is voor landbouw.

Wat vervangende brandstoffen betreft, is het probleem hoofdzakelijk van economische aard, aangezien kerosine vaak onbetaalbaar is voor de armen in de wereld, vooral nu de prijzen van alle aardoliederivaten sterk zijn gestegen.

Biogas-installaties vormen een interessante optie. Er bestaat een aanzienlijk potentieel voor het gebruik van deze installaties, die in wezen gesloten putten of bakken zijn voor het anaëroob fermenteren van biologisch en cellulosehoudend materiaal, met een voorziening om het geproduceerde gas op te vangen. Dit gas bestaat voornamelijk uit methaan en vormt een geschikte schone brandstof. Het verteerde slib met 1,5-2,2% stikstof is een betere meststof (rijker aan stikstof) dan die welke door compostering kan worden verkregen (0,75-1%). Wanneer dierlijke mest in deze installatie wordt gevoerd in plaats van te worden gedroogd en verbrand als cokes, wordt dus niet alleen een schonere en geschiktere brandstof verkregen, maar ook een waardevolle meststof.

Er kunnen gemakkelijk installaties met verschillende capaciteiten worden gebouwd, van kleine installaties voor gezinsgebruik tot installaties die groot genoeg zijn om aan de behoeften van een dorpsgemeenschap te voldoen. Vanuit het oogpunt van sociale kosten en baten zijn biogasinstallaties aantrekkelijk om in de energiebehoeften te voorzien, vooral omdat ze bijdragen aan de oplossing van de problemen op het gebied van voedsel, meststoffenvoorziening en sanitaire voorzieningen. Er zijn al enkele miljoenen kleine biogasinstallaties in bedrijf, voornamelijk in China en India, en in de komende jaren is een brede verspreiding in de meeste ontwikkelingslanden mogelijk, samen met specifieke biogasapparatuur, zoals biogasfornuizen, motoren en generatoren.

De alternatieve opties voor “intermediaire technologie”, vertegenwoordigd door “kleine” toepassingen (pompen, waterverwarmers, zonnekooktoestellen, enz.) van zonne-energie voor de basisbehoeften van gemeenschappen en gezinnen in ontwikkelingslanden, zijn besproken in het vorige hoofdstuk over zonne-energie.

Samenvattend kan worden gesteld dat een groot deel van de mensheid moeite heeft om in zijn basisbehoeften te voorzien: er wordt te weinig aandacht besteed aan deze dramatische problemen waarbij “eenvoudige” technologieën een rol spelen. Zoals verderop in het hoofdstuk over ‘voeding’ zal blijken, is het werkpotentieel van “passende” technologieën nog maar net aangeboord.

## NIET-CONVENTIONELE ENERGIEBRONNEN

*Wind.* De hoeveelheid energie die in wind beschikbaar is, is groot genoeg om het een aantrekkelijke energiebron te maken in regio's waar het grootste deel van de tijd een matige wind waait. Locaties langs kusten of continentale hellende vlaktes hebben 60-80% van de tijd bruikbare wind. Grote windmolens met een modern aerodynamisch ontwerp zijn getest en een vollediger benutting van windenergie lijkt verzekerd.

Het praktische gebruik van windenergie wordt belemmerd door de noodzaak van energieopslag om een windinstallatie in staat te stellen continu stroom te leveren. De methoden voor de opslag van windenergie zijn niet allemaal even geavanceerd. Het traditionele gebruik van accu's is meestal niet rendabel vanwege de kosten en de korte levensduur van de accu's. Voorstellen om de energie om te zetten in waterstof zijn technologisch haalbaar, maar op dit moment economisch niet realistisch.

Het oude gebruik van windenergie om water uit buisputten op te pompen en graan en andere producten te malen vereist geen continue stroomvoorziening. Er moet opnieuw worden ingezet op het gebruik van windenergie op deze traditionele manieren, overal waar deze energie kan worden benut in de sociale struktuur van een land.

Passaatwinden zijn bijzonder nuttig, gezien het feit dat sommige van de eilanden waar ze het meest betrouwbaar zijn ook een tekort aan energie hebben. Windenergie, die net als alle niet-conventionele energiebronnen kapitaalintensief is, vormt een groot probleem voor de ontwikkeling in de meeste achtergebleven economieën.

*Getijden.* Getijden zijn een haalbare bron van beperkte hoeveelheden energie wanneer de kusttopografie hoge getijden oplevert en een kanaal geschikt is voor

een stuwdam. De beschikbare hydrostatische druk is over het algemeen laag, waardoor er grote hoeveelheden getijdenwater nodig zijn. De technische haalbaarheid van getijdencentrales is aangetoond en in La Rance in Frankrijk is al enkele jaren een centrale van 350 MW in bedrijf. Er zijn nog een aantal andere locaties met potentieel geïdentificeerd, maar de aanpassing daarvan verloopt traag.

Aangezien getijden over het algemeen worden geassocieerd met estuaria, en aangezien dit belangrijke gebieden zijn voor waterdieren en menselijke activiteiten, moet bij de planning van industriële installaties in getijdengebieden rekening worden gehouden met de ecologische impact van voorgestelde ontwikkelingen. Deze complexe situatie ontmoedigt grote ontwikkelingsinspanningen op het gebied van getijdenenergie.

*Golven*. Oceaangolven zijn een grote potentiële energiebron die tot nu toe vrijwel volledig genegeerd is. De enige toepassing ervan is momenteel bij boeien die hun eigen elektrische energie produceren. De ene boei drijft vrij rond en dobbert op en neer, terwijl de andere verankerd is en door het golvende water een kleine turbine-generator aandrijft.

Aan de Atlantische kust van Schotland is er echter een strook van enkele honderden kilometers waar de gemiddelde golfenergie over het hele jaar, dag en nacht, ongeveer 50-70 kW per meter breedte bedraagt. Als dit met een rendement van 50% zou worden benut, zou dat voldoende kunnen zijn om de helft van de elektrische energie van Groot-Brittannië te leveren. Er zijn echter aanzienlijke moeilijkheden. De gemiddelde periode van de oceaangolven is 11 seconden, hun lengte is ongeveer 200 meter en om de helft van hun energie te kunnen winnen, zou men de snelheid van het water met de helft moeten verminderen tot een diepte van ongeveer 25 meter. Hiervoor zouden enorme peddels of roterende constructies nodig zijn. Bovendien kan de golfhoogte bij stormen, die eens in de 50 jaar voorkomen, oplopen tot 30 meter en is het nog niemand gelukt om tegen een acceptabele prijs constructies te ontwerpen die dergelijke stormen kunnen doorstaan. Het probleem blijft een grote en waardevolle uitdaging voor de vindingrijkheid van mechanische uitvinders.

*Thermische gradiënten in de zee.* De jaarlijkse stabiliteit van de thermische gradiënten in de zee, waar warm tropisch oppervlaktewater naar de polen stroomt over een koude polaire tegenstroom, is een aantrekkelijke potentiële energiebron omdat het niet het probleem van onregelmatigheid met zich meebrengt zoals andere niet-conventionele energiebronnen. Het fundamentele probleem bij het gebruik ervan is de

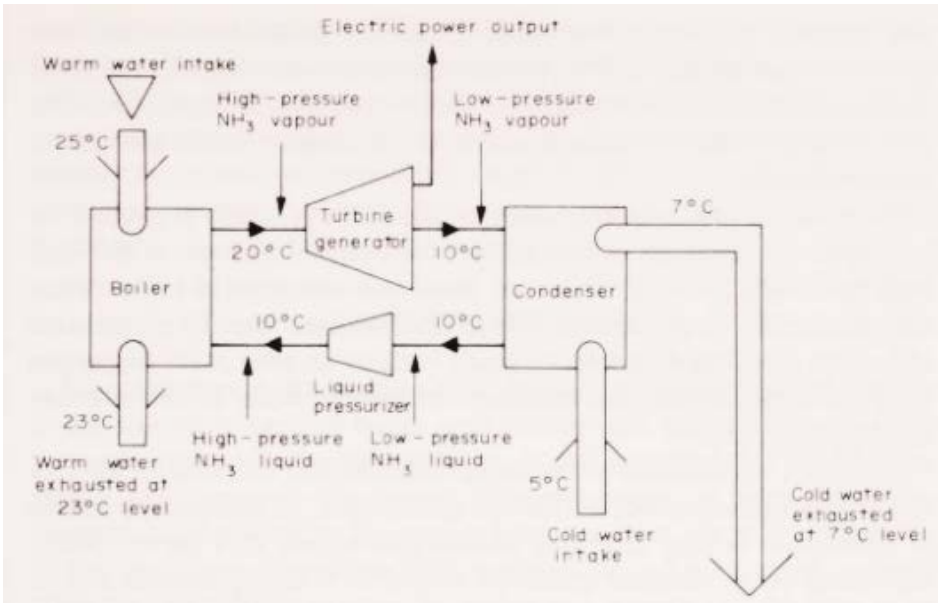



fig. 26. Basisontwerp van een thermische zeekrachtcentrale. Warm water wordt in de ketel gepompt om de werkvloeistof te koken - een vloeistof die bij omgevingstemperatuur onder matig hoge druk kookt. Ammoniak wordt in de illustratie aangegeven als de werkvloeistof. Het voldoet aan de meeste eisen voor een cyclus met een laag temperatuurverschil. Maar ammoniak brengt ook andere problemen met zich mee die het gebruik ervan in de weg kunnen staan ten gunste van freon, propaan of een aantal andere stoffen.

Het ammoniakgas onder “hoge druk” wordt in een turbine-generator gevoerd en wordt onder “lage druk” afgevoerd naar de condensor, die ook koud water uit de diepe oceaan ontvangt. Ammoniakvloeistof onder lage druk uit de condensor wordt vervolgens onder druk gezet en in de ketel gepompt. De cyclus wordt vervolgens herhaald.

Het totale temperatuurverschil tussen warm en koud water bedraagt ongeveer 20 °C. Dit verschil moet optimaal worden verdeeld over de ketel, de turbine-generator en de condensor. In de ketel moet de warmte van het water naar de ketelbuizen en vervolgens naar de werkvloeistof stromen. Een soortgelijke warmtestroom moet plaatsvinden in de condensor.

De manier waarop de beschikbare 20 °C wordt verdeeld over de ketel, de turbine-generator en de condensor is van invloed op de totale kosten van een energiecentrale. Als bijvoorbeeld 10 °C wordt toegewezen aan de warmtewisselaars in de ketel en in de condensor, bedraagt het Carnot-rendement slechts 3,3%. Met een dergelijk laag rendement moeten de ketel en de condensor enorme hoeveelheden water verwerken. Als conventionele warmtewisselingstechnologie zou moeten worden gebruikt, zouden de kosten onbetaalbaar zijn. Door de ketel en condensor onder water te installeren op een geschikte diepte waar de waterdruk aan de buitenkant gelijk kan worden aan de interne druk, kan de constructie relatief “licht” zijn met dunne buizen. Deze constructie heeft het dubbele voordeel dat zowel de warmtegeleiding wordt verbeterd als de kosten drastisch worden verlaagd. Anderson en Anderson hebben een dergelijke installatie voorgesteld waarbij de ketel enkele honderden meters onder de condensor wordt geplaatst om de druk op elke eenheid gelijk te maken. In een praktisch ontwerp moet men de economische aspecten afwegen tegen de daaruit voortvloeiende toename van het waterpompen en de algehele complexiteit van het systeem. *(Vervolg op de volgende pagina)*

lage thermisch verschil van 20-30 °C, wat betekent dat de conversie-efficiëntie laag zal zijn. Het vereist ook het pompen van enorme hoeveelheden zeewater door de warmtewisselaars van het systeem. Het belangrijkste ontwerpprobleem is hoe de wisselaars binnen acceptabele kostenlimieten kunnen worden geproduceerd.

Verschillende landen hebben al creatieve thermische energiecentrales op zee voorgesteld ( Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC). Sommige volgen het oorspronkelijke ontwerp van de eenheid die Georges Claude in Cuba bouwde, waarbij zeewater onder lage druk werd verdampt en rechtstreeks naar de turbine werd gestuurd. Het ontwerp is onlangs gemoderniseerd en veel haalbaarder gemaakt door terug te grijpen op een nog ouder voorstel van Jacques d'Arsonval, waarbij ammoniak in plaats van water als werkvloeistof wordt gebruikt (zie Fig. 26).

Elke poging om de technische en economische haalbaarheid van de exploitatie van oceaanthermische gradiënten te beoordelen, is in dit stadium echter onmogelijk. Hoe dan ook, men mag niet aannemen dat energiecentrales die oceaan-thermische gradiënten benutten een energiebron zonder vervuiling zouden zijn. Sterker nog, het naar de oppervlakte brengen van het koude, met koolstof verrijkte bodemwater zou een netto overdracht van anorganische koolstof naar het oppervlaktewater en vervolgens naar de atmosfeer als koolstofdioxide kunnen veroorzaken, met effecten die vergelijkbaar zijn met die van conventionele energiecentrales die fossiele brandstoffen gebruiken.

*Zeestromingen.* De exploitatie van zeestromingen voor energieopwekking brengt grote technische en economische uitdagingen met zich mee.

Geschikte zeegebieden zijn beperkt, de benodigde kapitaalinvesteringen zijn waarschijnlijk enorm en de benodigde onderzoeks- en ontwikkelings-inspanningen zouden zeer kostbaar zijn.

## **2.4.** Secundaire energiesystemen

De primaire energiecentrales van de toekomst zullen grote, onbeweegbare centrales zijn. De huidige technologie suggereert dat ze alleen elektriciteit zullen opwekken. De energievraag zal echter zodanig zijn dat zowel brandstoffen

Fig. 26 vervolg:
Met speciaal geprepareerde warmteoverdrachtsoppervlakken – gecontroleerde ruwheid aan de waterzijde, dampvallen op het kookoppervlak en verticale golvingen op het condensatieoppervlak – kunnen warmteoverdrachts-coëfficiënten tot wel 12 kW/m$^2$°C worden bereikt. Met deze techniek zouden de kosten voor de ketel plus condensor niet hoger mogen zijn dan $ 30 per kilowatt.
Bron: A. Levi, C. Zener, I.E.E.E. Spectrum, Oct. 1973, p. 22-27.

als elektriciteit nodig zullen zijn voor toepassingen zoals transport of opslag, om schommelingen tussen vraag en aanbod op te vangen. Veel energievormen zoals kernenergie, geothermische energie, golf- en getijdenenergie zijn op zichzelf niet bruikbaar, maar moeten worden omgezet in een andere vorm, zoals elektriciteit of synthetische brandstof. Dergelijke bruikbare, transporteerbare en op te slaan energievormen worden "secundaire energiesystemen" genoemd.

### *2.4.1. Elektrische energie*

Elektrische energie is de eenvoudigste en schoonste secundaire energievorm. Het heeft als voordeel dat het algemeen bekend en geaccepteerd is in het dagelijks gebruik en gemakkelijk te distribueren is, en zal ongetwijfeld in de toekomst een belangrijke rol blijven spelen. Het percentage primaire energie dat in elektriciteit wordt omgezet, is gestegen van minder dan 5% aan het begin van deze eeuw tot meer dan 20% in de jaren 1970- en zal naar verwachting in 1990 30% bedragen. Sommigen denken dat onze samenleving zich kan ontwikkelen tot een "volledig elektrische energie-economie", maar er zijn ernstige twijfels over het nut van elektriciteit in sommige toepassingen die veel energie verbruiken. Transport in het algemeen, vliegtuigen in het bijzonder, en sommige industriële verwarmingsprocessen worden conventioneler bediend met een chemische brandstof dan met elektriciteit.

Elektriciteit kent twee belangrijke nadelen in een "energiesysteem". Ten eerste is het moeilijk om een geschikt opslagsysteem te vinden, en ten tweede is de transmissie van elektriciteit in een krachtig en verweven netwerk duur.

Met de meeste moderne technologie vindt de opwekking van elektriciteit uit ruwe energie plaats via een warmte-energie-tussenproduct. Bij thermische opwekkingsprocessen gaat ongeveer tweederde van de energie bij kamertemperatuur noodzakelijkerwijs verloren als warmte, vanwege de inherente thermodynamische beperkingen. In OESO-landen is slechts 20% van de elektrische energie afkomstig van waterkracht (zie tabel 8), wat een rendement van meer dan 80% mogelijk maakt, voor zover de potentiële omzetting van elektrische energie de warmteconversiefase vermijdt. De thermodynamische beperkingen van elke warmtemotorcyclus zijn ernstig, en met de typische temperatuurbeperkingen in conventionele stoomketel- en stoomturbine-installaties worden theoretische "Carnot"-rendementen van 60-70% voorspeld.

Tabel 8
VERDELING VAN DE ELEKTRICITEITSPRODUCTIE IN OESO-LANDEN (MILJARDEN kWh)

| | 1958 | % | 1972 | | 1976 | % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Hydroproductie | 490.2 | 34.3 | 881.4 | 22.5 | 976.8 | 20.5 |
| Nucleaire productie | 0.5 | - | 143.0 | 3.6 | 380.5 | 8.0 |
| Geothermische productie | 1.9 | 0.1 | 4.2 | 0.1 | 4.5 | 0.1 |
| Thermische productie | 939.5 | 65.6 | 2899.9 | 73.8 | 3405.8 | 71.4 |
| Totaal | 1432.1 | 100.0 | 3928.5 | 100.0 | 4767.6 | 100.0 |

Bronnen:
*Statistic of Energy 1958-1972*, OESO, Parijs, 1974.
*The Electricity Supply Industry in OECD Countries,* OESO, Parijs, 1978.

Praktische rendementen van 50-60% van de theoretische waarde kunnen worden behaald, wat betekent dat een conventionele elektriciteitscentrale slechts 30-40% van de hoofdenergie omzet in bruikbare elektriciteit. De rest wordt geloosd in het koelmiddel, meestal een rivier of de atmosfeer. Vanwege deze inherente inefficiëntie van elektriciteitsopwekking zou er grote bezorgdheid moeten bestaan over de massale elektrificatie van ons energiesysteem, zelfs voor thermische toepassingen, zolang fossiele brandstoffen de belangrijkste pijler van onze energievoorziening vormen. In een volledig geëlektrificeerde economie zal het verbruik van ruwe energie, en dus de afvoer van restwarmte, veel groter zijn dan in een fossiele economie met dezelfde energieleveringscapaciteit.

Er zijn verschillende manieren om de basisefficiëntie van de opwekking te verhogen. Een daarvan is het gebruik van "topping"- of "bottoming"-cycli in combinatie met stoomturbine-opwekking. De toevoeging van een hogetemperatuur-energieconversiecentrale, zoals een gasturbine die werkt op het heliumkoelmiddelcircuit van de hogetemperatuur-kernreactor, vóór de stoomturbine, zal de algehele efficiëntie met wel 10% verhogen. Een bottomingcyclus, zoals een gesloten Rankine-cyclus die werkt op een laagkokende vloeistof zoals propaan, na het stoomopwekkingssysteem kan vergelijkbare voordelen hebben. Er is duidelijk een afweging tussen kapitaalkosten en efficiëntie of brandstofkosten, en op dit moment zijn dergelijke efficiëntieverbeteringen zelden economisch gerechtvaardigd.

Een andere aanpak om de efficiëntie te verhogen is het elimineren van warmte-

genererende motoren en vervangen deze door "isotherme" motoren. Een voorbeeld hiervan is de brandstofcel, die een brandstof omzet in elektrische energie door middel van een elektrochemisch proces. Theoretische rendementen tot 85% zijn mogelijk en praktische rendementen van 30-60% zijn al bereikt. Brandstofcellen lijken echter niet geschikt voor grootschalige toepassingen vanwege hun inherente technologische complexiteit, hun korte levensduur en, nog ernstiger, de grote kapitaalinvestering per geïnstalleerde kW.

In principe kan de hogetemperatuurwarmte van een kernreactor worden gebruikt om een snel bewegend plasma te creëren dat als stroomgeleider fungeert in een stationaire generator. Een dergelijk concept, magneto-hydrodynamische (MHD) opwekking genoemd, lijkt een hoog, rendement te hebben (50-60%), maar alleen wanneer er warmte beschikbaar is bij hoge temperaturen. Soortgelijke concepten worden overwogen voor het terugwinnen van energie uit de snel bewegende geladen deeltjes die worden geproduceerd door kernfusiereactoren.

In het gedeelte over zonne-energie hebben we al gesproken over de resultaten die tot nu toe zijn behaald bij het gebruik van zonnestraling voor energieopwekking en de problemen die nog moeten worden opgelost.

De t*ransmissie* en *distributie* van elektriciteit krijgt momenteel veel aandacht in onderzoek. Transmissie over afstanden van meer dan 200 mijl levert ernstige problemen op met conventionele wisselstroomsystemen, en daarom worden gelijkstroomverbindingen in gebruik genomen. De meeste systemen zijn echter sterk onderling verbonden wisselstroomsystemen, die gesynchroniseerd moeten blijven en op elk moment de piekbelasting moeten kunnen dragen. Naarmate het niveau van de stroomtransmissie toeneemt, is er een trend naar hogere spanningen: 220- en 345-kV-systemen waren ooit algemeen aanvaard, maar recentelijk zijn er 500-kV- en 765-kV-systemen geïnstalleerd en worden er 1000-kV- en 1500-kV-componenten getest. Dergelijke hoogspanningsleidingen kunnen veel grotere hoeveelheden energie tegen lagere kosten transporteren, maar vereisen hogere masten dan die welke conventioneel worden gebruikt.

Ondergrondse elektriciteitstransmissie brengt ernstige kostenproblemen met zich mee, voornamelijk vanwege de toegenomen isolatie- en koelingsproblemen. Over het algemeen kost ondergrondse kabeltransmissie ongeveer 10 tot 15 keer meer dan bovengrondse transmissie. Een concept dat momenteel wordt onderzocht, is het gebruik van supergeleidende kabels. Op dit moment moeten deze worden gekoeld tot vloeibare heliumtemperaturen en zijn de kosten van dergelijke installaties onbetaalbaar. Het lijkt erop dat supergeleidende kabels alleen aantrekkelijk zullen zijn

bij vermogens die aanzienlijk hoger liggen dan het niveau van de huidige bovengrondse leidingen (1000 MW), en als er nieuwe materialen worden ontwikkeld die hogere werktemperaturen mogelijk maken. Bij 25 K zou vloeibare waterstof in plaats van helium kunnen worden gebruikt. Recente wetenschappelijke studies op dit gebied zijn bemoedigend.

Bulkopslag van elektrische energie is wenselijk om te kunnen voldoen aan periodieke vraag met de vlakke (constante) productie van kernenergie of de cyclische productie van zonne-energie. Hiervoor worden gepompte waterkrachtcentrales gebruikt, met een energieterugwinningsrendement van ongeveer 70%, maar er zijn maar weinig geschikte locaties beschikbaar. Bulkopslag in batterijen zou een totaal rendement van ongeveer 75% hebben, maar de kapitaalkosten zijn te hoog. Andere overwogen methoden zijn onder meer elektrolyse van water tot waterstof, dat kan worden opgeslagen als vloeistof of als metaalhydride (tot 50% rendement), opslag van samengeperste lucht in ondergrondse grotten en vliegwielen. Geen van deze methoden is tot nu toe economisch verantwoord gebleken.

### *2.4.2. Het waterstofenergiesysteem*

Waterstof is geen primaire brandstof. Het komt niet van nature in aanzienlijke hoeveelheden in ongebonden vorm voor in de aardkorst en kan dus niet als een energiebron worden beschouwd. Waterstof lijkt echter een veelbelovende secundaire brandstof te zijn. De prijs ervan is momenteel hoog in vergelijking met die van fossiele brandstoffen, waaruit het wordt geproduceerd, maar waterstof uit niet-fossiele bronnen zou relatief goedkoper kunnen worden naarmate fossiele brandstoffen schaarser en duurder worden.

Van alle mogelijke synthetische brandstoffen is waterstof de schoonste in gebruik, conceptueel eenvoudig te produceren en het meest overvloedig aanwezig. Waterstof kan rechtstreeks als brandstof worden gebruikt, of als grondstof voor de productie van basischemicaliën zoals ammoniak, hydrazine en methanol. Er lijkt geen reden te zijn waarom zuivere waterstof op lange termijn niet zou kunnen worden gebruikt voor alle doeleinden waarvoor aardgas vandaag de dag wordt gebruikt. Branders, motoren en gasturbines kunnen worden aangepast voor het gebruik van waterstof als brandstof (afb. 27). De omzetbaarheid van energie uit alle bronnen in waterstof, en van waterstof terug in niet-vervuilende energievormen, biedt ook een veelzijdig systeem. Hoewel de belangstelling voor het concept van een "waterstofeconomie" binnen de energiesector toeneemt, zijn de problemen bij de implementatie van een dergelijk systeem enorm en moeten deze vooraf grondig worden beoordeeld.

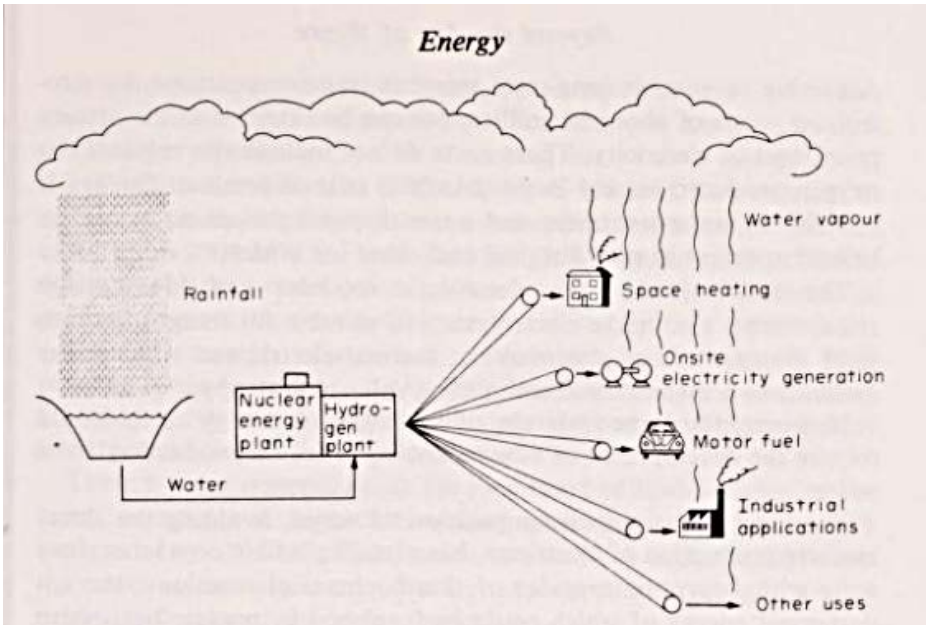



Fig. 27. Schema van een cyclus waarbij waterstof wordt geproduceerd uit kernenergie en gebruikt in verschillende toepassingen.

## PRODUCTIE VAN WATERSTOF

Tegenwoordig wordt industriële waterstof gemaakt uit aardgas en andere fossiele brandstoffen, voornamelijk door reactie met stoom. De omzetting van steenkool, schalie en laagwaardige brandstoffen in waterstof is technisch mogelijk en zou op korte termijn een mogelijke bron van waterstofbrandstof kunnen zijn. Op deze manier zou waterstof kunnen fungeren als een gangbare brandstof om de overgang naar een tijdperk zonder fossiele brandstoffen te overbruggen.

Waterstof kan worden geproduceerd door middel van elektrolyse van water. Dit proces is over het algemeen erg duur en wordt momenteel alleen op industriële schaal toegepast wanneer specifieke omstandigheden het aantrekkelijk maken. Voor grootschalige waterstofproductie is zeer goedkope elektriciteit nodig, zoals bijvoorbeeld beschikbaar is in Canada en Noorwegen. Er moet echter nog veel worden gedaan om het potentieel voor elektrochemische verbeteringen in elektrolyseapparaten volledig te benutten. De prestaties van de huidige elektrolytische cellen zouden aanzienlijk kunnen worden verbeterd door de nieuwste kennis op het gebied van elektrokatalyse en gaselektroden toe te passen. Een nog geavanceerdere oplossing zou stoomelektrolyse in vaste-stofelektrolysecellen bij hoge temperatuur kunnen zijn.

Uitgaande van redelijke verbeteringen op lange termijn in het onderzoek naar de elektrolyse-installatie, kunnen bij het huidige prijsniveau van elektriciteit kosten van ongeveer 8 dollar/miljoen Btu (Britische thermische eenheid) (8 dollar/293 kWh) worden verwacht. Deze kosten zijn exclusief de waarde van de zuurstof die in zeer grote hoeveelheden als bijproduct wordt geproduceerd. Zuurstof is waardevol in waterzuiverings- en afvalverwerkingsprocessen en is ook belangrijk in de metallurgische en andere industrieën.

Door het kleine formaat van de elektrolytische modules en de lage spanningsvereisten is elektrolyse ook zeer geschikt voor integratie in zonne-energiecentrales, zoals fotovoltaïsche, thermo-elektrische en windenergiesystemen, als middel om zonne-negentropie op te slaan. Voor grootschalig gebruik van waterstof als energiedrager zou echter de ontwikkeling van nieuwe technologieën voor de productie ervan uit water nodig kunnen zijn.

De indirecte thermische ontleding van water, waarbij de tussentijdse productie van elektriciteit wordt vermeden, is op laboratoriumschaal mogelijk gebleken met behulp van geschikte cycli van thermochemische reacties, waarvan de endotherme energie door nucleaire warmte kan worden geleverd. Ook hybride cycli, die een elektrochemische stap omvatten, worden onderzocht en in 1979 is een eerste geïntegreerd laboratoriumcircuit voltooid De totale efficiëntie, gedefinieerd als de verhouding tussen de hogere verbrandingswaarde van de geproduceerde waterstof en de totale thermische energie-input die nodig is voor het ontledingsproces, kan oplopen tot 50%. Om deze waarden te bereiken zijn echter warmtebronnen nodig in het bereik van 990-1100°C, en deze liggen slechts binnen het bereik van enkele thermische energieopwekkingssystemen, zoals de meer geavanceerde typen hoge-temperatuur kernreactoren of de hoge-temperatuur gefocuste zonnecollectoren.

Om de technologische en economische haalbaarheid van de voorgestelde thermochemische cycli aan te tonen, is verder onderzoek nodig naar de reactiechemie, laboratoriumexperimenten en verbeteringen op het gebied van flow-sheeting, corrosie- en materiaalonderzoek, proces- en kostenanalyse. Het onderzoek naar andere “indirecte” technologieën voor waterontleding (fotochemisch, biologisch) bevindt zich nog in een vroeg stadium.

## TRANSPORT VAN WATERSTOF

De technologie voor het transporteren van energie in een ondergrondse gasleiding is door de aardgasindustrie goed ontwikkeld. Bovendien

zijn de kosten voor het transport van gas aanzienlijk lager dan die voor standaard elektriciteitstransport, op basis van een gelijk energieverbruik. Een typische aardgasleiding van 36 inch kan bijvoorbeeld energie transporteren tegen een kostprijs van ongeveer 1-2 ¢/miljoen Btu-100 mijl (¢= dollarcent) ($0,02-0,05/MWh-100 km). Deze kosten kunnen worden vergeleken met die van een hoogspanningsleiding die tot 2000 MW kan transporteren voor 9-20 ¢/ miljoen Btu-100 mijl ($0,2-0,5/MWh-l00 km). Ondergrondse stroomkabels kosten waarschijnlijk een orde van grootte meer dan bovengrondse leidingen.

De huidige schattingen van de kosten voor het transport van waterstof via pijpleidingen variëren van 4 tot 8 cent / miljoen Btu per 100 mijl, ofwel van 0,09 tot 0,18 dollar per MWh per 100 km. Deze kosten bedragen slechts ongeveer een twintigste van de kosten voor ondergronds transport van elektriciteit.

Er bestaat enige bezorgdheid over de kans op waterstofbrosheid, vooral bij hoge transmissiedrukken en hoogwaardig staal. Brosheid kan zowel in de leidingen als in de compressoronderdelen optreden. Er is verder experimenteel onderzoek nodig om veilige bedrijfsmaterialen te definiëren.

## WATERSTOFOPSLAG

Waterstof biedt interessante mogelijkheden voor energieopslag. De gasindustrie slaat grote hoeveelheden gas op voor piekverdeling in ondergrondse poreuze rotsformaties, zoals in uitgeputte gasvelden en watervoerende lagen waar mogelijk, en door middel van cryogene vloeibare opslag elders. Waterstof kan op dezelfde manier ondergronds worden opgeslagen zoals aardgas wordt opgeslagen, en er bestaan al belangrijke precedenten voor ondergrondse waterstofopslag. Als alternatief lijkt de mogelijkheid om vloeibare waterstofopslag te gebruiken op een manier die analoog is aan LNG-opslag, heel goed haalbaar, hoewel veel duurder. De technologie voor vloeibare waterstof is goed ontwikkeld voor de lucht- en ruimtevaartindustrie en er worden al tanks met een capaciteit tot 1 miljoen gallon (3.8 miljoen liter) gebruikt.

De lage efficiëntie van een elektriciteitsopslagsysteem op basis van waterstof is waarschijnlijk het grootste obstakel voor het gebruik ervan. Een optimistische schatting van 54% ligt aanzienlijk onder het niveau van 60-70% dat wordt bereikt met gepompt water. Het grote voordeel van waterstofenergieopslag is echter dat het op vrijwel elke geografische locatie op enorme schaal kan worden toegepast. Waterstofopslag kan ook worden gerealiseerd door het gebruik van metaalhydriden, bijvoorbeeld ijzer-titanium of nikkel-lanthaan

intermetallische verbindingen. Voor kleinschalige toepassingen zoals transportsystemen zou dit type opslag bijzonder voordelig kunnen zijn.

VEILIGHEIDSPROBLEMEN MET WATERSTOF

Veiligheid is misschien wel het meest controversiële aspect van het gebruik van waterstof. Waterstof is een gevaarlijke stof, maar wordt zo veel gebruikt in de industrie en de lucht- en ruimtevaart dat er duidelijk omschreven voorschriften zijn opgesteld. De ondergrens van de ontvlambaarheid in lucht is ongeveer gelijk aan die van aardgas (4% en 5%), maar het ontvlambaarheidsbereik is veel hoger (tot 75% voor waterstof en slechts 15% voor aardgas). Waterstof heeft een zeer lage ontstekingsenergie, waardoor een statische vonk het kan doen ontbranden. Het heeft ook een zeer hoge vlamsnelheid en een zeer lage vlamemissiviteit. In vergelijking met propaan en benzine is de ondergrens van de ontvlambaarheid bij vermenging met lucht hoger, en het is veel lichter dan lucht, zodat het snel verspreidt bij een lek of morsen.

Wanneer waterstof met lucht verbrandt, kan dit leiden tot hoge emissies van stikstofoxiden. Om deze verontreinigende stoffen te beheersen, zijn voor verbrandingsmotoren het injecteren van water en andere technieken voorgesteld, terwijl voor huishoudelijke apparaten katalytische verbranding is voorgesteld.

In woningen en commerciële toepassingen zouden om veiligheidsredenen geur- en lichtadditieven moeten worden toegevoegd, vanwege de eigenschappen van waterstof dat het geen geur heeft en de vlam onzichtbaar is.

## *2.4.3. Synthetische koolwaterstoffen*

In de tussentijd wordt de productie van gasvormige en vloeibare brandstoffen uit steenkool, teerzanden of olieschalie beschouwd als de belangrijkste manier om synthetische koolwaterstoffen te verkrijgen, en is het onderzoek en de ontwikkeling op dit gebied sterk geïntensiveerd.

In principe zijn er veelbelovende vooruitzichten voor het “uitrekken” van fossiele brandstoffen door ze te koppelen aan kernenergie. In sommige landen wordt onderzoek gedaan naar combinaties van hogetemperatuurgasgekoelde reactoren met stoomreforming* en/of kolenvergassingsprocessen. Deze zouden een verhoging van de energie-inhoud van de eindproducten mogelijk maken met



* "Steam reforming" , "stoomreforming": een chemisch proces om een waterstofrijk gas te produceren uit koolwaterstoffen (zoals aardgas) door middel van stoom bij hoge temperatuur.

betrekking tot het invoermateriaal door nucleaire warmte te leveren aan de endotherme processen, waardoor een deel van de fossiele brandstof wordt "vervangen". De belangrijkste obstakels zijn: (i) de vereiste temperatuur (1100 °C) hoger is dan die welke momenteel door HTGCR(High Temperature Gas-Cooled Reactor) wordt bereikt, en (ii) de kolenvergassingsinstallaties om economische redenen in de buurt van het kolenveld moeten worden gesitueerd. Gezien deze beperkingen lijkt het economischer om kolen zelf als energiebron te gebruiken in plaats van nucleaire warmte. Het is dan ook onwaarschijnlijk dat nucleaire installaties voor de productie van koolwaterstoffen vóór de volgende eeuw commercieel in gebruik zullen worden genomen, en het is nog te vroeg om dit als een reëel vooruitzicht te beschouwen.

Op zeer lange termijn, wanneer fossiele brandstoffen uitgeput zijn, kan worden onderzocht hoe synthetische koolwaterstoffen kunnen worden geproduceerd uit waterstof, waarbij de koolstof wordt gewonnen uit dolomiet of kalksteen, of misschien uit atmosferische CO2. Vanwege de enorme hoeveelheid energie die voor deze processen nodig is, zijn ze echter alleen gerechtvaardigd in omstandigheden waarin energie zeer goedkoop is en moeten ze als hypothetisch worden beschouwd.

## *2.4.4. Energie voor transport*

Transport is grotendeels gebaseerd op mobiele opslag van energie in de vorm van chemische energie. Brandstoffen voor motorvoertuigen moeten een zeer hoge energiedichtheid hebben. Tabel 9 toont gegevens voor enkele typische brandstoffen.

Tabel 9
VERBRANDINGSWARMTE VAN SOMMIGE BRANDSTOFFEN

| Fuel | kcal/kg | kcal/Ndm$^3$ |
|---|---|---|
| Benzine | 10,150 | 8030 |
| Methanol | 5340 | 4310 |
| Ethanol | 7100 | 5640 |
| Waterstof | 33,910 | 3.05* |

*Gasvormig.
Bron: Ullmanns Enzyklopädie der Technischen Chemie.

De uitstekende eigenschappen van benzine zijn duidelijk en dit verklaart zijn dominante positie onder de brandstoffen voor motorvoertuigen

Milieuvervuiling en mogelijke olietekorten vormen fundamentele beperkingen voor het gebruik van benzine. We kunnen daarom een verbreding van het spectrum aan brandstoffen voor transport verwachten.

Op middellange termijn (15-20 jaar) zou de vraag naar olie kunnen worden verminderd door de ontwikkeling van een uit steenkool gewonnen brandstof voor auto's. Synthetische benzine uit steenkool zal de vervuilingsproblemen niet verhelpen. Deze zullen moeten worden opgelost door aanpassingen aan de motor of het uitlaatsysteem. Methanol uit steenkool vereist eenvoudige en goedkope installaties, maar is als brandstof schoon. Methanol kan voor 20-30% worden bijgemengd in bestaande benzine om de beschikbare energievoorraden te vergroten zonder ingrijpende aanpassingen aan de motor, terwijl toekomstige voertuigen kunnen worden ontworpen voor het gebruik van pure alcoholbrandstoffen. Problemen doen zich voor door de lage energiedichtheid (de helft van die van benzine) en door de corrosiviteit en hygroscopiciteit van methanol.*

Op lange termijn (na het jaar 2000) moeten we overwegen om waterstof als brandstof voor auto's te gaan gebruiken. De belangrijkste problemen zijn de opslag in het voertuig en de beschikbaarheid en opslag van waterstof bij het tankstation. De komst van elektrische auto's is afhankelijk van de verbeterde prestaties van accu's en gedeeltelijk van de ontwikkeling van ad-hoc-technologieën op het gebied van elektromotoren en elektronica.

Tot nu toe hebben onderzoek en ontwikkeling op het gebied van batterijen met een hoge energiedichtheid nog geen resultaten opgeleverd die van waarde zijn voor het verkrijgen van nieuwe economische, lichte en betrouwbare apparaten. En vanwege de beperkte prestaties van conventionele batterijen kan worden verwacht dat elektrische auto's voornamelijk in stedelijke gebieden zullen worden gebruikt, en dan nog alleen als het gebruik ervan wettelijk wordt verplicht gesteld.

Niettemin zijn batterijen met een hoge energiedichtheid die snel kunnen worden opgeladen nodig om te voldoen aan de groeiende vraag naar gemakkelijk transporteerbare energiebronnen in verschillende industriële en huishoudelijke toepassingen. Sommige systemen hebben al het ontwikkelingsstadium bereikt. Zeer hoge energiedichtheden kunnen worden verkregen door alkalimetalen (voornamelijk lithium en natrium) als negatieve elektroden en sterke oxidatiemiddelen zoals fluor en chloor als positieve elektroden te gebruiken. Dit wordt weergegeven in figuur 28, waarin de theoretische energiedichtheden worden vergeleken die kunnen worden

---

* 0,5% water in een mengsel van 30/70 methanol/benzine veroorzaakt fasescheiding.

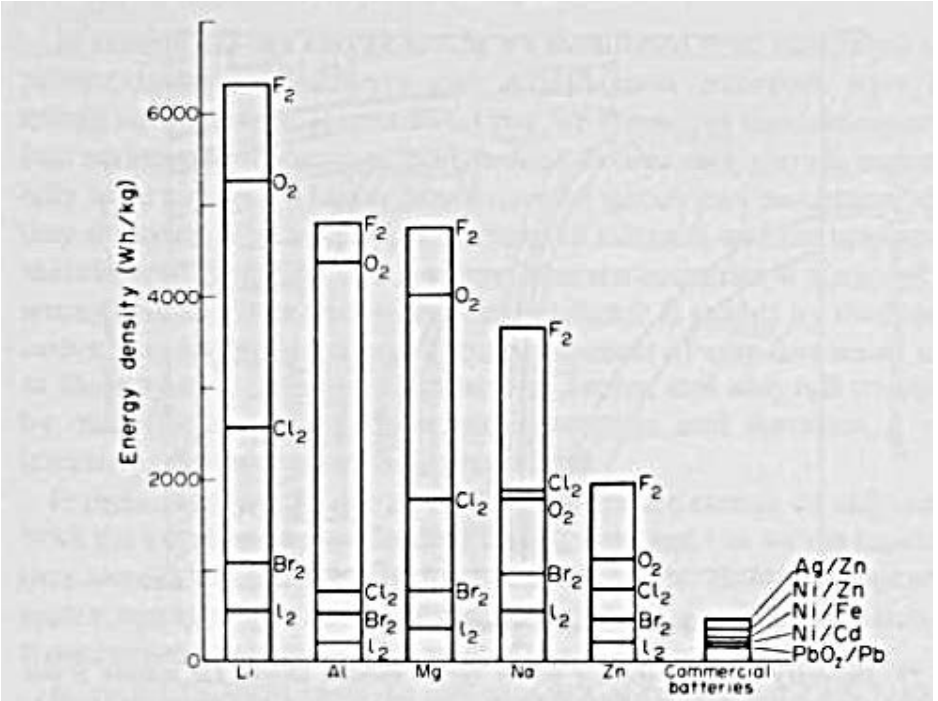
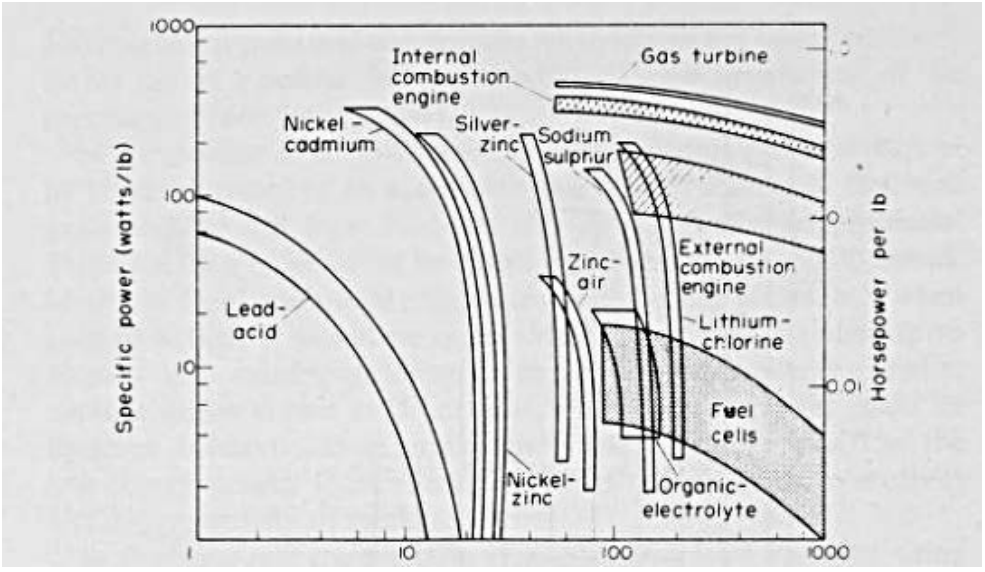



Fig. 28. Vergelijking tussen de theoretische energiedichtheden van bepaalde elektrochemische koppels van metaal/halogeen en metaal/zuurstof en de praktische energiedichtheden van bepaalde gangbare commerciële batterijen.

verkregen door verschillende elektrodeparen. De hoogste dichtheid is die van het lithium/fluorpaar, gelijk aan 6000 Wh/kg bij kamertemperatuur, terwijl de praktische energiedichtheid van lood-zuur-accu's minder dan 50 Wh/kg bedraagt; enkele speciale cellen die 100 Wh/kg bereiken, zijn momenteel te koop. Om het gebruik van alkalimetalen haalbaar te maken, is het belangrijkste probleem het remmen van hun bekende reactiviteit met water, wat het gebruik van waterige oplossingen als elektrolyt belemmert. Momenteel worden verschillende soorten niet-waterige elektrolyten onderzocht (organische oplosmiddelen, gesmolten zouten, vaste elektrolyten), maar tot nu toe zijn er nog geen goede resultaten behaald.

Een vergelijkbare situatie doet zich voor bij brandstofcellen. Deze cellen gebruiken een gasvormige (bijvoorbeeld waterstof) of vloeibare brandstof (bijvoorbeeld koolwaterstoffen, methanol) als actief materiaal voor de negatieve elektrode. De aanzienlijke onderzoeksinspanningen die in de jaren 1960- door ruimtevaart- en militaire doelstellingen werden gestimuleerd, hebben nog geen significante resultaten opgeleverd voor civiele toepassingen.

De prestatiekenmerken (specifiek vermogen en specifieke energie-inhoud) van verschillende energieomzettingssystemen zijn samengevat in




Specifieke energie (watt-uur/lb) (dus watt-uur/pond)

Fig. 29. Overzichtstabel van specifiek vermogen versus specifieke energie voor aandrijfbronnen (uit: *The Automobile and Air Pollution,* U.S. Dept. of Commerce, 1967.)

Fig. 29. Het lijkt erop dat de gasturbine (Brayton-cyclus) aantrekkelijke vermogens- en energiekenmerken heeft en een redelijk alternatief kan bieden voor interne verbranding. Externe verbrandingsmotoren (Stirling-cyclus) hebben acceptabele prestatiekenmerken in automobieltoepassingen, maar lijken te duur voor grootschalig gebruik. Ze kunnen nuttig zijn als onderdeel van een hybride systeem waarin ze niet worden gebruikt voor piekvermogensbehoeften. De huidige oplaadbare batterijen kunnen geen actieradius en vermogen bieden die in de buurt komen van de prestaties van voertuigen met verbrandingsmotoren. Het batterijsysteem dat momenteel wordt onderzocht (bijvoorbeeld Na/S, Li/Cl2) zou voldoende actieradius en vermogen kunnen bieden voor elektrische voertuigen, terwijl brandstofcellen beperkt lijken te zijn in vermogen en te duur voor gebruik in particuliere voertuigen. Een alternatief zou de ontwikkeling kunnen zijn van vliegwielen met een hoge dichtheid, op basis van composietmaterialen en een geschikt vliegwielontwerp, die elektrische energie in mechanische vorm zouden moeten opslaan in hoeveelheden die voldoende zijn om elektrische motoren in middelgrote auto's met een bereik van ongeveer 200 km van stroom te voorzien. Er zijn echter nog steeds aanzienlijke verbeteringen nodig ten opzichte van de huidige materialen.

In paragraaf 2.2 over energiebesparing hebben we vermeld dat spoorwegen en aanverwant openbaar vervoer in vergelijking met particulier vervoer een laag energieverbruik hebben. Het is van essentieel belang dat we de ontwikkeling ervan tot een geïntegreerd vervoerssysteem stimuleren. Snelle elektrische spoorwegen zullen ongetwijfeld een groter deel van de goederen en passagiers moeten vervoeren dan nu het geval is. Het gebrek aan winstgevendheid van spoorwegen en de daaruit voortvloeiende inkrimping van hun netwerk in veel westerse landen is een teken van de verkeerde manier waarop ons systeem reageert wanneer het wordt geleid door kortetermijn- in plaats van langetermijnvisies. De ontwikkeling van zeer snelle treinen, zoals die welke al in gebruik zijn, met name in Japan, en ook spoorvervoer door middel van magnetische levitatie, bieden perspectieven en vormen een zeer interessant onderzoeks- en ontwikkelingsgebied.

!

Vrachtwagens verbruiken ongeveer vier keer zoveel energie als treinen. Vanwege het ongemak van het laden en de slijtage aan de snelwegen zouden ze beperkt moeten blijven tot korte afstanden. Zwaar transport per vrachtwagen zou zoveel mogelijk beperkt moeten blijven tot transport van het spoorwegknooppunt naar de consument, als onderdeel van het geïntegreerde systeem.

In het luchtverkeer is er geen reëel vooruitzicht op vervanging van de gasturbine. Een vliegtuig op kernenergie zou minstens twee keer zo groot zijn als een jumbojet en het risico bij ongevallen zou onaanvaardbaar zijn. Bovendien wijzen recente gegevens erop dat de trend naar grotere en snellere vliegtuigen zeer twijfelachtig is wat energieverspilling betreft. Verder moet de vervanging van vliegtuigen door snelle treinen voor middellangeafstandsvervoer zorgvuldig worden onderzocht.

## 2.5. Regionale implicaties van het energieprobleem

Tegenwoordig wordt het energieprobleem vooral bekeken vanuit het perspectief van sterk geïndustrialiseerde landen, zoals Noord-Amerika, West-Europa en Japan. In werkelijkheid is dit een wereldwijd probleem dat verschillende regio's in de wereld op verschillende momenten in verschillende mate zal treffen, afhankelijk van de mate waarin hun energieverbruik toeneemt, hun technologische mogelijkheden en de lokale of regionale beschikbaarheid van bepaalde hulpbronnen. Figuur 30 geeft de mate van energieonafhankelijkheid weer voor verschillende regio's in de wereld. Het is duidelijk dat we een onderscheid moeten maken tussen de situatie in Noord-Amerika en die in West-Europa of Japan..

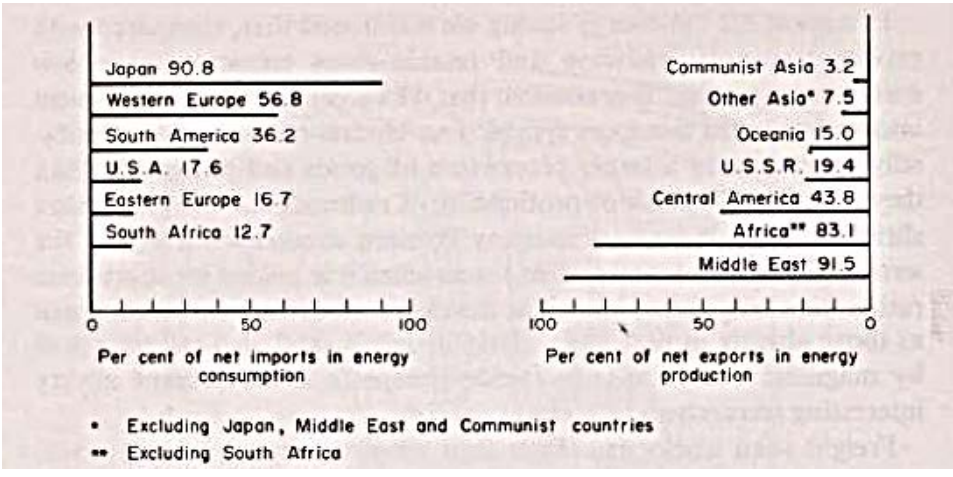



Fig. 30. Netto-energie-import of -export in verhouding tot consumptie of productie, per regio in de wereld (1976). (Gebaseerd op gegevens van: *1978 Statistical Yearbook,* United Nations, New York, 1979).

Japan, met zijn beperkte reserves aan fossiele brandstoffen, is sterk afhankelijk van het Midden-Oosten. Ter vergelijking: de Verenigde Staten en Canada kunnen binnen tien jaar quasi-onafhankelijk worden van energie-importen, aangezien zij beschikken over grote voorraden aan zowel conventionele (olie, gas, steenkool) als niet-conventionele (olieschalie, teerzanden) fossiele brandstoffen en uranium.

Van de EEG-landen bevindt het Verenigd Koninkrijk zich duidelijk in de beste situatie. Het beschikt over de rijkste steenkool-reserves van Europa en kan nu het grote potentieel van de gas- en olievelden in de Noordzee exploiteren, zodat meer dan 90 % van zijn energieverbruik uit eigen bronnen wordt gedekt, terwijl Frankrijk 76 % van zijn energie importeert en Italië 83 %. Frankrijk, Duitsland en andere Europese landen voeren min of meer intensieve programma's voor nucleaire ontwikkeling uit. Duitsland richt zijn inspanningen momenteel op de uitbreiding van zijn capaciteit voor steenkoolproductie en -verbruik. Met name Italië heeft mogelijk ook gunstige vooruitzichten voor de verdere ontwikkeling van geothermische energie. Europa als geheel zou uitgebreide exploratie naar koolwaterstoffen moeten ontwikkelen in sedimentaire bekkens, zowel in kustgebieden als in offshore-zones in de Atlantische Oceaan en de Middellandse Zee.

De Oost-Europese landen met een centraal geleide economie staan voor alternatieven en vooruitzichten die vergelijkbaar zijn met die van de westerse markteconomieën, maar met een veel lager risiconiveau. De Sovjet-Unie en andere Oost-Europese landen als regio zullen

lang zelfvoorzienend zijn, maar hun vraag stijgt zo snel dat de export waarschijnlijk beperkt zal blijven.

China is een speciaal geval omdat haar huidige consumptiepatronen en de levensstijl van haar bevolking niet wijzen op een onmiddellijke energiecrisis als gevolg van een overmatige vraag. Op lange termijn kan haar bevoorradingssituatie echter moeilijk worden. In ieder geval zijn er overvloedige steenkool- en olievoorraden, die in ieder geval voldoende zijn om de overgangsperiode naar geavanceerdere energietechnologieën te overbruggen.

In ontwikkelingslanden, met name in landen die snel industrialiseren en verstedelijken, lijkt het probleem anders te liggen. Over het algemeen is in landen als India, Brazilië, Argentinië, Mexico en andere landen van vergelijkbaar economisch belang de groei van het energieverbruik momenteel hoger – met 50% of zelfs meer – dan die van het BNP, en over het algemeen betekent dit een verdubbelingstijd van 10 jaar of minder. Dit is niet alleen te wijten aan het industriële verbruik en de stijgende levensstandaard van de middenklasse, zoals blijkt uit het huishoudelijk elektriciteitsverbruik, het autoverkeer en de airconditioning. Het is ook te wijten aan de ontwikkeling van het wegvervoer in plaats van het spoorvervoer en aan de invoering van veel “verspillende” normen, of vormen van consumptie door de ontwikkelde landen.

Bovendien zijn de belangrijkste technologieën die zowel in de industrie als in de moderne landbouw worden gekozen, doorgaans kapitaalintensief en zeer energie-intensief. Hoewel ze productief zijn, worden ze meestal niet zorgvuldig afgewogen in termen van toekomstige beschikbaarheid van arbeidskrachten of energievoorziening. Er moet ook worden opgemerkt dat in ontwikkelingslanden als geheel de bevolkingsgroei tegen het einde van de eeuw waarschijnlijk niet minder dan 1,8% per jaar zal bedragen. Momenteel is dat 2,5%.

Als de hierboven beschreven trends onverminderd doorzetten, zullen sommige landen in de ontwikkelingswereld (bijvoorbeeld Brazilië, Argentinië en India) te maken krijgen met een moeilijk energievoorzieningsprobleem in termen van kosten en daadwerkelijke beschikbaarheid. Het probleem zal zich voordoen vanwege hun omvangrijke invoer van koolwaterstoffen of vanwege het gebrek aan voldoende lokale energiebronnen (koolwaterstoffen en met name steenkool). Het probleem kan gedeeltelijk en tijdelijk worden verlicht door invoer uit buurlanden. Op langere termijn moeten we ons afvragen of deze landen klaar zijn om de nieuwe technologieën voor op steenkool gebaseerde brandstoffen of kernenergie en de daarmee gepaard gaande kosten te absorberen, en om zich voor te bereiden op de

overgang naar geavanceerdere technologieën. Een andere vraag voor deze landen betreft de alternatieven voor het huidige energieverbruik. Deze omvatten een vermindering van het verbruik, de invoering van minder energie-intensieve productie- en consumptiemethoden en, in het algemeen, een heroriëntatie van hun hele economische systeem.

Een groot aantal landen met een lager industrialisatieniveau maar met een stijgende levensstandaard, waarbij sprake is van “moderne” consumptie-patronen, wordt dus geconfronteerd met een langdurige energiecrisis. Dit komt door een volledige afhankelijkheid van invoer en het totale gebrek aan alternatieve energiebronnen (behalve zonne-energie), in combinatie met een laag niveau van wetenschappelijke en technologische ontwikkeling. Dit is de situatie in veel gebieden in Afrika, Azië en Latijns-Amerika.

Een speciaal geval zijn de olie- en gasproducerende landen in het Midden-Oosten, Afrika en Zuid-Amerika. Het is duidelijk dat veel van deze landen nog jarenlang geen lokaal bevoorradingsprobleem zullen hebben. In dergelijke landen is de internationale onderhandelingspositie echter van cruciaal belang. Bovendien zullen zij zich moeten voorbereiden op het moment dat deze bron van buitenlandse deviezen niet langer beschikbaar zal zijn.

De energiecrisis heeft dan ook enorme internationale economische, politieke en logistieke gevolgen. Meer internationale samenwerking op wetenschappelijk, technologisch en economisch gebied is uiterst noodzakelijk en urgent.

## 2.6. Conclusies en aanbevelingen inzake energie

1. De analyse van de huidige energiesituatie en -vooruitzichten leidt tot de conclusie dat de belangrijkste inspanning in ontwikkelde landen, die vandaag 85 % van de wereldwijde energievraag verbruiken terwijl ze slechts 30 % van de wereldbevolking uitmaken, gericht moet zijn op energie-besparing. Tot voor kort stimuleerden de relatief lage kosten van energie uit koolwaterstoffen, voorbij elke redelijke grens, de ontwikkeling van een algemeen productie- en consumptiepatroon dat niet werd beperkt door problemen op het vlak van energievoorziening en -kosten en dat bijgevolg inherent energieverspillend was. Tegelijkertijd bood de beschikbaarheid van goedkope energie onvoldoende prikkels om intensief onderzoek en ontwikkeling op energiegebied te verrichten

2. Gezien het huidige bewustzijn van de waarde van energievoorziening, is het duidelijk dat de economieën van industriële samenlevingen

verantwoordelijker en zorgvuldiger moeten omgaan met energie. Een andere reden om zuinig om te gaan met energie is de impact op het milieu in alle stadia van het energiesysteem, van de winning van grondstoffen tot het uiteindelijke gebruik. Er moet met name worden opgemerkt dat de negatieve effecten niet altijd onmiddellijk merkbaar zijn, maar pas op middellange of lange termijn zichtbaar worden. Van bijzonder belang is het probleem van de uiterste grenzen van het energieverbruik om een aanvaardbaar klimaat te handhaven. Hoewel de energie die door menselijke activiteiten wordt verspild vroeger verwaarloosbaar was in vergelijking met die van natuurlijke fenomenen, bereikt de door de mens geproduceerde energie in sommige regio's nu een niveau dat vergelijkbaar is met de invallende zonnestraling. De daaruit voortvloeiende gevaren moeten worden geëvalueerd en de mogelijke langetermijneffecten van een verhoogd energieverbruik op het klimaat en het milieu moeten worden onderzocht. Hoewel we nog geen exacte bovengrens kunnen vaststellen, ligt deze zeker niet erg hoog, en ons langetermijndoel moet een samenleving zijn met een energieverbruiksstijging die dicht bij nul ligt. Om dit langetermijndoel te bereiken, moeten natuurlijk energiebesparende technologieën en energiezuinige producten en productiesystemen worden ontwikkeld. Maar een andere belangrijke factor is het efficiënte beheer van afvalstoffen, zowel om deze als energie- en grondstofbron te exploiteren als om de milieuvervuiling te verminderen.

3. Hoewel energiebesparing een noodzaak is voor geïndustrialiseerde samenlevingen, moeten minder ontwikkelde landen hun energieverbruik dringend verhogen om hun ontwikkelingsproces te versnellen en de sociale en economische kloof met geïndustrialiseerde landen te overbruggen. Er moet dan ook hoge prioriteit worden gegeven aan het voorzien van een toenemende energievoorziening aan deze landen om aan hun sociale en economische behoeften te voldoen. Dit betekent niet dat hun ontwikkeling noodzakelijkerwijs gepaard gaat met een grote verspilling van energie of een patroon dat leunt op energie-intensieve activiteiten.

4. Het is duidelijk dat het bereiken van dit doel afhangt van de sociale en economische situatie in elk ontwikkelingsland (met name wat betreft de beschikbaarheid en concentratie van kapitaal) en van hun technologische vaardigheden. Als zij eenzelfde patroon van energiegroei zouden volgen als de geïndustrialiseerde landen, zou dat in feite een ondraaglijke uitputting van hulpbronnen met zich meebrengen en een evenwichtige economische ontwikkeling in gevaar brengen. De meest geschikte oplossing voor de landen van de derde wereld lijkt de invoering van een laag kapitaal-

en een laag-technologisch energieontwikkelingspatroon, , waar mogelijk gebaseerd op het gebruik van zelfs kleine binnenlandse bronnen. Dit kan heel goed samenvallen met de noodzaak voor deze landen om efficiënte arbeidsintensieve industrieën te ontwikkelen, waar een groeiende bevolking een relatief nog grotere beroepsbevolking betekent.

Dit soort oplossing lijkt het best aangepast aan de sociale en economische situatie van de ontwikkelingslanden, vooral gezien het belang van hun plattelandsgebieden. Bovendien kan de ontwikkeling van energie volgens deze lijnen de geïndustrialiseerde landen nuttige aanwijzingen voor de lange termijn opleveren.

5. De huidige energiesituatie in de wereld wordt daarom enerzijds geconfronteerd met de noodzaak om energie te besparen in geavanceerde samenlevingen en anderzijds met de noodzaak om snel meer energie beschikbaar te maken voor ontwikkelingslanden, zonder dat deze onnodig afhankelijk worden van kapitaalintensieve technologieën, die hun economieën niet zouden kunnen dragen.

6. De analyse van de vooruitzichten van de verschillende energiebronnen in relatie tot de hierboven besproken problemen leidt tot de volgende conclusies:

(i) Vanwege hun flexibiliteit en lagere kapitaalintensiteit in vergelijking met kernenergie, zullen *olie en aardgas,* hoewel ze in geïndustrialiseerde landen een afnemende maar fundamentele rol spelen, de komende decennia de meest geschikte belangrijkste energiebron voor de ontwikkelingslanden vormen.

(ii) Van alle fossiele brandstoffen heeft *steenkool* de grootste reserves en verdient daarom speciale aandacht. Het gebruik ervan in geïndustrialiseerde landen vereist echter een grootschalige ontwikkeling van vergassings- en vloeibaarmakingsprocessen, waardoor het kan worden gebruikt als vervanging voor koolwaterstoffen. Voor ontwikkelingslanden hangt een grootschalig gebruik van steenkool in principe samen met de lokale beschikbaarheid ervan.

(iii) De verspreiding van de exploitatie van niet-traditionele fossiele brandstoffen zoals *teerzanden en olie-schalie* hangt af van de ontwikkeling van economisch verantwoorde technologieën voor de verwerking van grondstoffen en de productie van koolwaterstoffen. De exploitatie van deze hulpbronnen blijft echter beperkt tot die delen van de wereld waar grote voorraden aanwezig zijn.

(iv) In ontwikkelingslanden moet *brandhout*, een hernieuwbare koolstofhoudende brandstof, een nuttig alternatief voor steenkool blijven, hoewel het een lagere energie-inhoud heeft. Er moet namelijk worden bedacht dat brandhout, net als andere organische brandstoffen (bijvoorbeeld koeienmest), van oudsher een van de belangrijkste energiebronnen is in de plattelandseconomieën van de derde wereld.

(v) *Organisch vast afval* vertegenwoordigen een energiebron die zelfs in ontwikkelde landen speciale aandacht verdient, omdat deze hernieuwbaar is, evenredig met het verbruik groeit en de exploitatie ervan voldoet aan de eis om vervuiling uit te bannen. Deze bron kan op verschillende niveaus en met verschillende systemen worden geëxploiteerd, afhankelijk van de organisatie en technologische ontwikkeling van een samenleving.

(vi) Het potentieel van *waterkracht* wordt in de meeste ontwikkelde landen bijna volledig benut, terwijl het in bepaalde delen van de ontwikkelingslanden aanzienlijk onderbenut is en groot is in vergelijking met de lokale energievraag. In dergelijke regio's kan deze bron dan ook een zeer belangrijke rol spelen.

(vii) Het potentieel van *geothermische* energie is vrij groot voor conventionele bronnen van stoom en warm water; op lange termijn bestaat het vooruitzicht om de warmte te benutten die is opgeslagen in hete gesteenten en uiteindelijk ook de warmte van de aardmantel.

(viii) *Zonne-energie* biedt interessante vooruitzichten voor de middellange en lange termijn, maar de grootschalige exploitatie ervan voor de productie van elektriciteit, waterstof of andere brandstoffen brengt nog steeds aanzienlijke technische problemen met zich mee. Voor lokale en beperkte toepassingen, zoals ruimteverwarming en landbouw, vormt zonne-energie echter al een haalbare oplossing en moet alles in het werk worden gesteld om het gebruik ervan snel te verspreiden.

(ix) Op mondiaal niveau bieden niet-traditionele kleine bronnen – *getijden, golven, wind, oceaan-stromingen, thermische gradiënten* – geen significante vooruitzichten op korte en middellange termijn. In sommige specifieke gevallen, zoals bij wind, kan het gebruik ervan echter aanzienlijk bijdragen aan het voldoen aan de behoeften van minder ontwikkelde economieën.

7. Op dit moment is *kernsplijting* de enige alternatieve energiebron voor fossiele brandstoffen die zowel technisch haalbaar als economisch rendabel is.

Er moet echter op worden gewezen dat dit soort energie niet alleen zeer kapitaalintensief is, maar ook ernstige veiligheids- en beveiligingsproblemen met zich meebrengt, met alle gevolgen van dien voor het milieu. Bovendien brengt kernsplijting, in tegenstelling tot bijna alle andere energiebronnen, bijzondere problemen met zich mee vanwege de politieke en militaire implicaties van de wijdverbreide en willekeurige verspreiding ervan. Deze problemen zouden nog worden versterkt door de toename van de plutoniumvoorraad als gevolg van de ontwikkeling van snelle kweekreactoren, die worden bepleit omdat ze het verbruik van uranium tot een minimum beperken. *Kernfusie* zou een aantal van deze problemen kunnen oplossen, maar deze oplossing is niet alleen nog kapitaalintensiever dan kernsplijting, maar zal volgens de meest optimistische schattingen pas in de volgende eeuw op grote schaal beschikbaar zijn.

8. Uit het bovenstaande kan worden afgeleid dat, ondanks de hogere kapitaalintensiteit en andere reeds genoemde nadelen, een verdere ontwikkeling van kernsplijtingsenergie vandaag de dag een onvermijdelijke keuze is voor de geïndustrialiseerde landen. Maar zelfs voor deze landen kan het niet worden beschouwd als een voorkeursoptie om aan de energiebehoeften op lange termijn te voldoen. Naast de bovengenoemde problemen vereist een uitgebreide nucleaire ontwikkeling namelijk een gecentraliseerd beheer en een gecentraliseerde regulering van een zo rigide en complex macrosysteem dat het twijfelachtig is of dit met succes onder controle kan worden gehouden.

9. Vanuit dit oogpunt benadrukt kernenergie de reeds bestaande trend in de geïndustrialiseerde landen naar een rigide en gecentraliseerd energiesysteem, met name op het gebied van elektriciteit. Als deze trend zich zou versterken, zou de ontwikkeling van alternatieve energiebronnen – met name zonne-energie – worden belemmerd. Een energiebeleid dat gericht is op een evenwichtige ontwikkeling van gecentraliseerde en gedecentraliseerde productie zou ook de ontwikkeling van alternatieve bronnen bevorderen.

10. De ontwikkeling van kernenergie moet dan worden beschouwd als een keuze die beperkt is in tijd en ruimte, en die moet worden benut om de kloof in de energievraag te dichten tijdens de overgang van het huidige olietijdperk naar een nieuw tijdperk dat gebaseerd is op een breed spectrum van primaire bronnen.

11. Bij het ontwikkelen van nieuwe of verbeterde energiebronnen waarvan de haalbaarheid is bewezen, moeten we ons realiseren dat: (i) onderzoek en ontwikkeling op het gebied van alternatieve energiebronnen vaak zeer complex is en dat succes afhankelijk is van de inspanningen die in elk afzonderlijk geval worden geleverd; (ii) onderzoek

en ontwikkeling een lange doorlooptijd heeft (gemiddeld 1-2 decennia), en (iii) de wijdverspreide verspreiding van nieuwe technologieën over het algemeen nog langer duurt. Er moet rekening worden gehouden met de lange doorlooptijd van onderzoek om het gevaar van ongerechtvaardigde verwachtingen op korte termijn te vermijden.

12. Hoewel het debat over energie momenteel vooral gericht is op de kwestie van primaire energiebronnen, moet worden opgemerkt dat er meer nadruk moet worden gelegd op energie-omzetting, -opslag en -transport, die in termen van investeringen, technische betrokkenheid en milieu-impact een zeer belangrijk onderdeel vormen van het totale energieprobleem. Daarom moet veel aandacht worden besteed aan de problemen die verband houden met de verdere uitbreiding van de huidige systemen voor energie-omzetting, -opslag en -transport. Bovendien is er behoefte aan verder onderzoek naar nieuwe soorten systemen (zoals magnetohydrodynamica, batterijen met een hoge energiedichtheid en waterstof), met speciale aandacht voor hun potentiële impact op de economie en de samenleving.

13. Wij zijn van mening dat wetenschap en technologie, mits er voldoende middelen beschikbaar zijn en rekening wordt gehouden met de lange doorlooptijden, adequate oplossingen kunnen bieden voor de energieproblematiek op wereldwijde basis. Gezien de cruciale rol van energie in de moderne samenleving en de langetermijngevolgen van beleidsbeslissingen, mogen keuzes niet op technocratische wijze worden gemaakt. Bij het nemen van dergelijke ingrijpende beslissingen is het belangrijk om de publieke opinie te betrekken, teneinde een algemene consensus te bereiken bij het vaststellen van het energiebeleid, met inbegrip van maatregelen op het gebied van onderzoek en ontwikkeling. Er moeten institutionele manieren worden gevonden om consensus te bereiken door universiteiten, onderzoeksinstellingen, de industrie, dienstverlenende bedrijven en vertegenwoordigers van de publieke opinie in het algemeen bij het proces te betrekken, zodat zoveel mogelijk elementen worden verzameld om het besluitvormingsproces te ondersteunen.
Wetenschappers en technologen hebben een duidelijke maatschappelijke verantwoordelijkheid in dit educatieve proces.

# *3. Materialen*

## 3.1. Inleidende opmerkingen

De situatie op het gebied van grondstoffen is in principe vergelijkbaar met die van energie. Er is echter een verschil: energie die eenmaal als lage temperatuurwarmte in het milieu is verdwenen, is volledig onbruikbaar geworden. Fossiele brandstoffen zijn niet hernieuwbaar. Hout, ooit de belangrijkste en zelfhernieuwbare energiebron, is nu in geïndustrialiseerde landen een bijna verwaarloosbare commerciële brandstofbron geworden. Er zullen vervangingen voor conventionele methoden van energieopwekking moeten worden ontwikkeld. Aan de andere kant zijn minerale hulpbronnen weliswaar per definitie eindig en niet zelfvernieuwend, maar zijn er volop mogelijkheden voor vervanging, besparing en recycling. Materialen worden doorgaans niet vernietigd, hoewel ze in het milieu, met inbegrip van de oceanen, kunnen terechtkomen en daarmee voor alle praktische doeleinden onherstelbaar zijn. Ze worden echter fysisch of chemisch omgezet en kunnen opnieuw worden gebruikt, mits er voldoende technologie en energie beschikbaar is.

Het probleem van materialen, bekeken in zijn totaliteit, van de winning van natuurlijke hulpbronnen tot de omzetting ervan in eindproducten en de uiteindelijke afvoer, is complex. Het raakt aan talrijke en onderling samenhangende kritieke problemen, zoals de beperkte beschikbaarheid van hulpbronnen, de beschikbaarheid van energie en de milieu-impact van zowel de productie als het gebruik.

Materialen zijn van vitaal belang voor de mensheid en vormen een basisvoorwaarde voor het voldoen aan een aantal fundamentele behoeften van de samenleving. Alle fysieke behoeften en wensen van de mens –voedsel, huisvesting, kleding, vervoer, informatie– zijn gekoppeld aan materialen, zowel metalen als niet-metalen (zoals beton, kunststoffen of hout), afkomstig uit hernieuwbare of niet-hernieuwbare bronnen. Bovendien is het bij het gebruik van energie in verschillende vormen noodzakelijk dat er materialen beschikbaar zijn om de diverse functies te vervullen die verband houden met de productie, omzetting, opslag en het transport van energie.

De beschikbaarheid van materialen wordt een fundamenteel probleem wanneer schaarste de vervulling van fundamentele behoeften in de weg staat. Bij het overwegen van de materiaalkwestie ligt het dus voor de hand om eerst de uit te voeren functie te bestuderen en vervolgens te analyseren welke specifieke materialen daarvoor nodig zijn. Alternatieve materialen of technologieën bieden vaak betere oplossingen dan conventionele materialen met hun inherente beperkingen.

In het geval van energie hebben we gezien hoe de lage kosten van een conventionele grondstof zowel onderzoek als gebruik beïnvloeden, waardoor de ontwikkeling van alternatieve grondstoffen wordt ontmoedigd. Het is belangrijk om te voorkomen dat een soortgelijke situatie zich voordoet bij grondstoffen. In sommige gevallen kunnen er grote prijsstijgingen optreden, die van invloed zijn op de productie. Bij fosfaten hebben zich inderdaad al prijsstijgingen voorgedaan. Een aanzienlijke stijging van de kosten van een mineraal zoals bauxiet zou het gebruik mogelijk maken van alternatieve mineralen die momenteel niet rendabel zijn voor de productie van aluminium. Dit zou leiden tot een zeer grote toename van de minerale reserves van het betreffende element. Voor de overschakeling van bauxiet naar ertsen van mindere kwaliteit, zoals klei, zou echter waarschijnlijk een hoger energieverbruik nodig zijn. De prijsniveaus van grondstoffen hebben dus een sterke invloed op de gebruikte technologieën en op het productie-proces. Bovendien worden reserves over het algemeen berekend op basis van bestaande technologie, die door de kosten wordt bepaald.

Er moet ook rekening mee worden gehouden dat de consumptie van bepaalde speciale materialen die niet gemakkelijk te vervangen zijn (bijvoorbeeld wolfraam) nauwelijks verandert als de prijs daarvan daalt of stijgt. In het geval van schaarste aan grondstoffen kunnen de economische gevolgen voor de productiesectoren die deze materialen gebruiken zeer ernstig zijn.

De figuren 31 a-c tonen de ontwikkeling in het wereldwijde verbruik van bepaalde metaalhoudende en niet-metaalhoudende mineralen en, ter vergelijking, van bepaalde niet-metaalhoudende materialen (kunststoffen, cement) en landbouw-/dierlijke producten die in de industrie worden gebruikt (katoen, jute, natuurrubber, wol). In tabel 10 wordt de waardegroei van metaalhoudende en niet-metaalhoudende ertsen in de eerste 70 jaar van deze eeuw vergeleken met die van energierijke grondstoffen.

De groei van de vraag naar materiële goederen wordt grotendeels bepaald door de totale bevolkingsgroei en door de stijging van het inkomen per hoofd van de bevolking, wat de consumptie en het bezit van materiële goederen stimuleert. Bovendien is de stimulans van de vraag, die inherent is aan het huidige economische

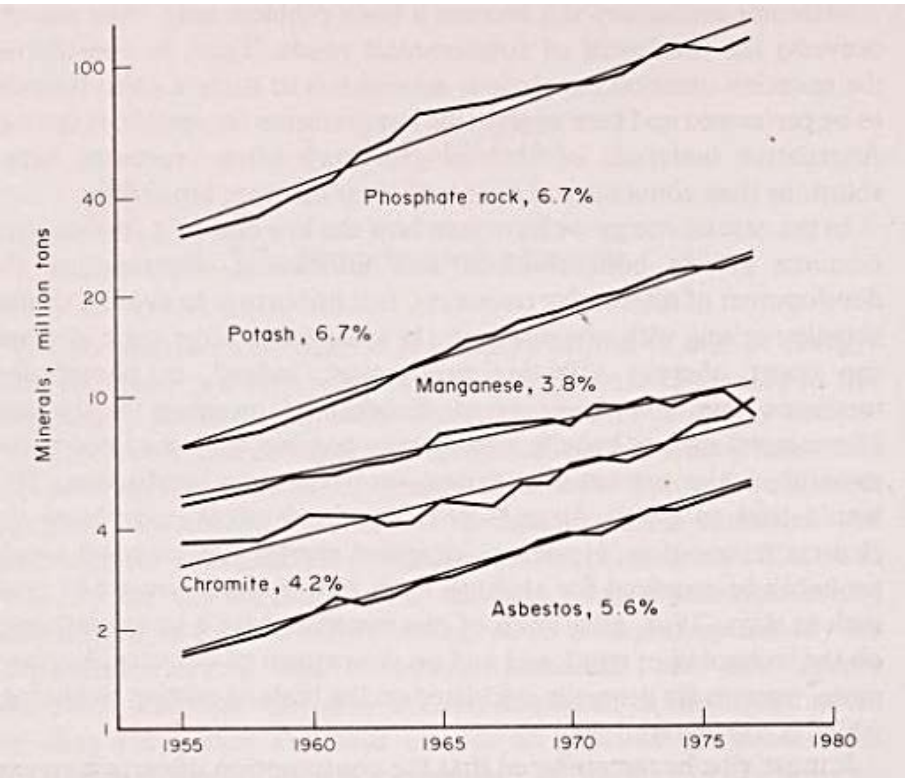



Fig. 31 .(a) Wereldproductie van enkele belangrijke mineralen.

systeem, stimuleert het afwijzen en vervangen van goederen in welvarende samenlevingen, waardoor de levensduur van veel producten wordt verkort, hetzij door geplande veroudering, hetzij door veranderende mode, waardoor de vraag naar materialen toeneemt. Om een idee te krijgen van de omvang van het bevoorradingsprobleem, moet men bedenken dat de verwachte verdubbeling van de wereldbevolking betekent dat er binnen slechts 30-40 jaar een aantal infrastructuurwerken, diensten, instrumentele en consumptiegoederen moet worden gerealiseerd dat vergelijkbaar is met wat er in de hele geschiedenis van de beschaving is geproduceerd. De hoeveelheid infrastructuur en goederen die de komende decennia moet worden geproduceerd, zal dus een ongekende inspanning vergen – een inspanning die coördinatie en een visie op de lange termijn vereist, geïnspireerd door een mondiale strategie die gericht is op zowel het voortbestaan als een harmonieuze evolutie van de mensheid.

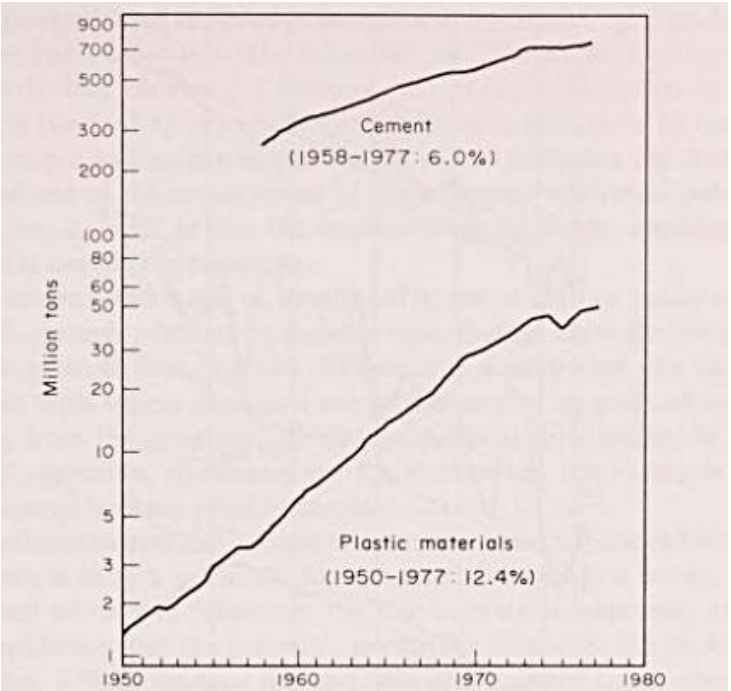



Fig. 31.(b) Wereldproductie van bepaalde niet-metalen materialen.

Het scala aan materialen dat door de mens wordt gebruikt, breidt zich voortdurend uit en verandert, in navolging van de technologische en maatschappelijke ontwikkeling in verschillende delen van de wereld. Naarmate de economische omstandigheden verbeteren en in de basisbehoeften wordt voorzien, krijgt de mensheid nieuwe, geavanceerde behoeften op gebieden als onderwijs, vervoer en informatie. Om aan deze kwalitatieve in plaats van kwantitatieve behoeften te voldoen, moeten we onze efficiëntie in het gebruik van traditionele materialen heroverwegen. Vaak zijn nieuwe producten en nieuwe diensten nodig, die op hun beurt het gebruik van nieuwe materialen met specifieke chemische en fysische eigenschappen vereisen.

Het staalverbruik weerspiegelt het patroon van de evoluerende vraag. Een aanzienlijke vraag naar staal ontstaat wanneer het inkomen *per hoofd van de bevolking* ongeveer $ 300 (1972) bedraagt, een niveau dat gepaard gaat met het begin van de industrialisatie. Daarna wordt staal verbruikt in een tempo dat hoger ligt dan de groei van het inkomen, totdat een inkomen *per hoofd van de bevolking* van ongeveer $ 2500 wordt bereikt. Op dat moment is de industrie sterk gediversifieerd, zijn de materiaalbehoeften meer gespecialiseerd en blijft de dienstensector groeien,

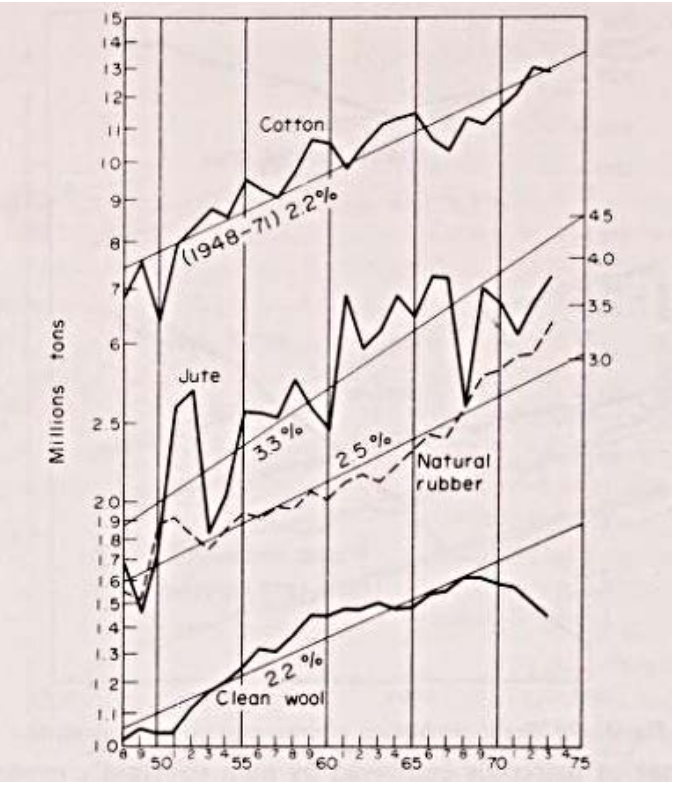



Fig. 31.(c) Wereldwijde productie van bepaalde landbouw- en dierlijke producten die in de industrie worden gebruikt. (Data bron: First World Symposium, *Energy and Raw Materials,* Paris, June 1974.)

TABEL 10
GROEI IN DE WERELDWIJDE PRODUCTIE VAN MINERALE PRODUCTEN
in $ $10^9$ (1972)

| | 1900 | 1940 | 1970 |
|---|---|---|---|
| Energiegrondstoffen | 7.4 | 22.0 | 83.8 |
| Metaal-ertsen | 4.3 | 13.1 | 45.5 |
| Niet-metaal ertsen | 2.6 | 7.7 | 47.0 |
| Total | 14.3 | 42.8 | 176.3 |

met als gevolg dat de groei van het staalverbruik begint af te nemen. Alle basismaterialen vertonen een vergelijkbare trend, terwijl voor de nieuwere materialen, zoals bijvoorbeeld kunststoffen, de piek in de materiaalintensiteit (d.w.z. g/$ BNP) ten opzichte van de BNP-curve nog moet worden bereikt.

Een ruime en ononderbroken aanvoer van grondstoffen is daarom een van de hoekstenen geworden van het economisch welzijn van industrielanden en van de verbetering van de levensomstandigheden van mensen in ontwikkelingslanden.

Geen enkel land kan hopen zelfvoorzienend te zijn op het gebied van alle grondstoffen. Over het algemeen neemt, als alle andere zaken gelijk blijven, de afhankelijkheid van buitenlandse handel voor de aanvoer van grondstoffen toe naarmate een land zich industrieel ontwikkelt.

Korte-termijn problemen met de aanvoer houden voornamelijk verband met politieke factoren die voortvloeien uit de geografische en geopolitieke verspreiding van veel natuurlijke hulpbronnen, wat leidt tot min of meer tijdelijke of lokale tekorten of tot scherpe prijsstijgingen.

Het fundamentele belang van materialen in een geavanceerde industriële economie wordt weergegeven in figuur 32 voor het geval van de Verenigde Staten. Vanuit het oogpunt van hulpbronnen wordt de rol van materialen duidelijk wanneer men bedenkt dat de materiaalproducerende industrieën: 45% van het water, 47% van de totale brandstof en 39% van de elektriciteit verbruiken die door alle industrieën wordt verbruikt (Verenigde Staten, 1963).

De rijke ertsafzettingen zijn ongelijk verdeeld. Bovendien bevinden veel van deze afzettingen zich (deels omdat de rijke ertsen in de industrielanden al zijn uitgeput) in de derde wereld, terwijl de markt voor het metaal zich in de ontwikkelde landen bevindt. Dit blijkt uit tabel 11, die de handelsstromen voor metaalertsen, concentraten en schroot weergeeft en laat zien dat de ontwikkelde landen, met name Japan en West-Europa, grote netto-importeurs zijn, terwijl de minder ontwikkelde landen van Latijns-Amerika, Azië en Afrika grote netto-exporteurs zijn.

Figuur 33 laat meer specifiek zien dat de voorraden van sommige belangrijke mineralen geconcentreerd zijn in een klein aantal landen en dat de reserves van sommige belangrijke mineralen in consumptielanden grotendeels ontoereikend zijn om aan hun behoeften te voldoen, hoewel het grootste deel van de wereldwijde productie van mineralen nog steeds afkomstig is uit ontwikkelde landen.

Voor veel ontwikkelingslanden is en blijft de export van mineralen een belangrijke bron van inkomsten. De meeste derdewereldlanden hebben

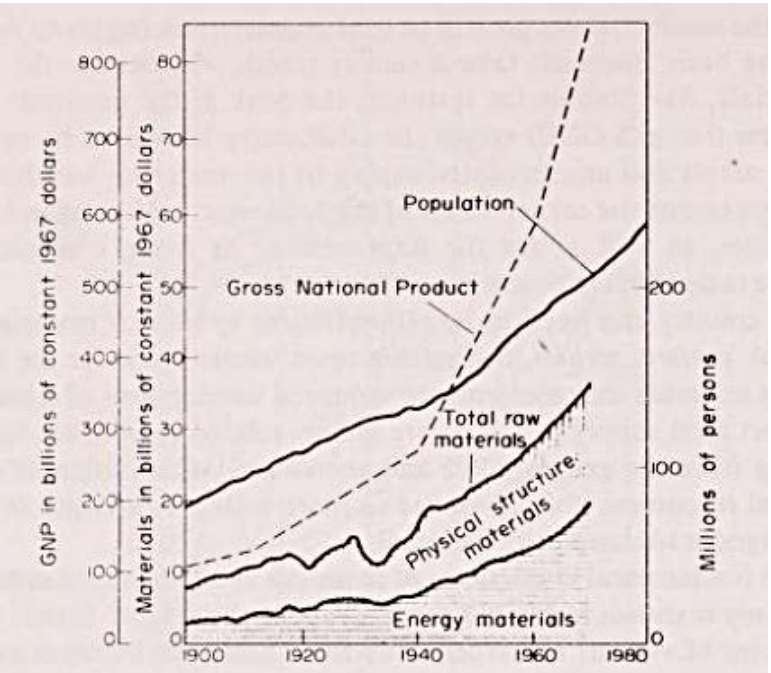



Fig. 32. De rol van materialen in de economie van de Verenigde Staten. (Uit: *Raw Materials in the U.S. economy: 1900-1969*, Bureau of Census, U.S. Dept. Commerce en Bureau of Mines, U.S. Dept. Interior.)

TABEL 11. METAALERTSEN, CONCENTRATEN en SCHROOT
(1970 - MILJOENEN AMERIKAANSE DOLLARS)

| | Export | Import | Netto export (Netto import) |
|---|---|---|---|
| Verenigde Staten | 940 | 1090 | (150) |
| West Europa | 1340 | 3560 | (2220) |
| Japan | | 1950 | (1950) |
| Andere ontwikkeld | 2110 | 177 | 1933 |
| Subtotaal | 4390 | 6777 | (2387) |
| Latijns America | 930 | 75 | 855 |
| Azië | 580 | 145 | 435 |
| Afrika | 465 | 10 | 455 |
| Subtotaal | 1975 | 230 | 1745 |
| Andere landen | 1515 | 873 | 642 |

Bron: Bureau of Mines.

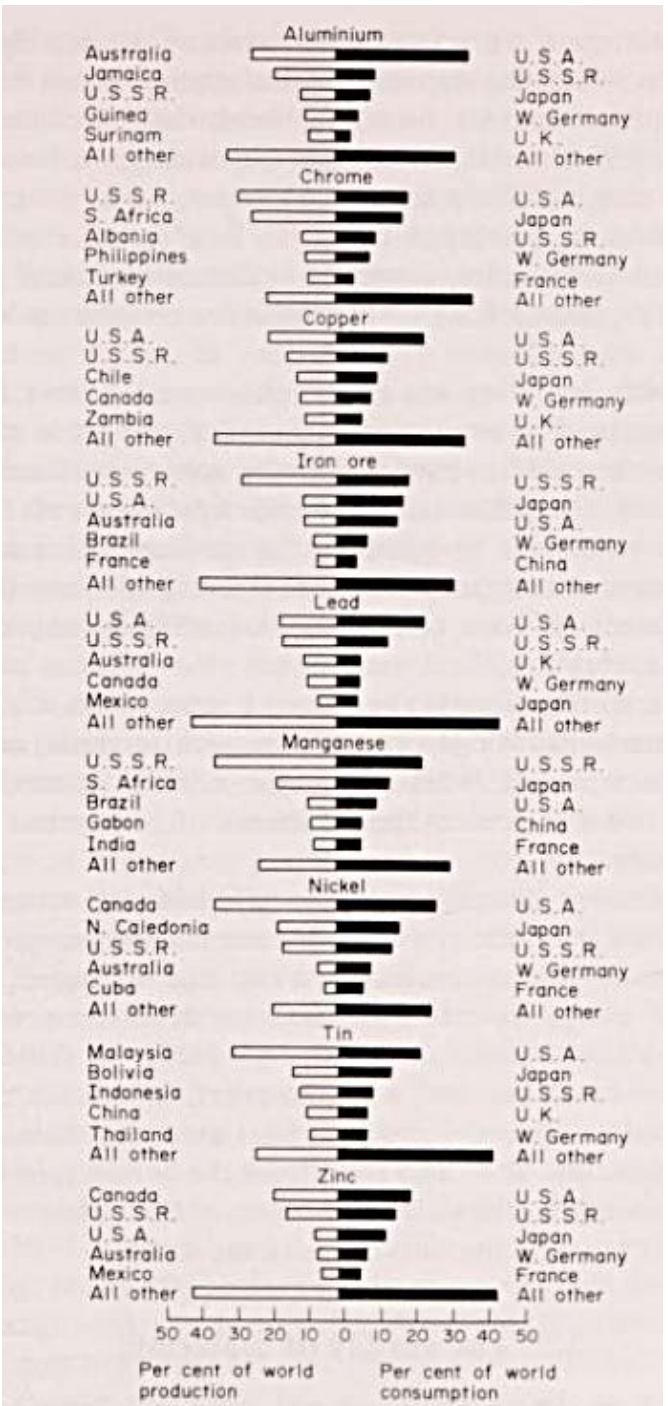



Fig. 33. Belangrijkste landen die enkele basismineralen produceren en consumeren (1974).

een negatieve handelsbalans in grondstoffen, als we ook de mineralen meerekenen waaruit de geïmporteerde industriële producten zijn gemaakt. Voor landen die industrialiseren, zal het directe verbruik van mineralen steeds belangrijker worden en kunnen de groeicijfers van deze landen aanzienlijk stijgen. Hoewel de groei van het verbruik in ontwikkelde landen grote zorgen baart, is het totale verbruik in ontwikkelingslanden feitelijk zo klein dat hun versnelde grondstoffengebruik geen reden tot bezorgdheid is, althans niet op korte termijn.

Landen die rijk zijn aan grondstoffen zijn zich nu terdege bewust van hun toenemende onderhandelingspositie. De groei van de internationale handel benadrukt de onderlinge afhankelijkheid van landen en de noodzaak om de belangen van de geïndustrialiseerde wereld af te stemmen op die van ontwikkelingslanden. Internationale samenwerking is een essentiële voorwaarde om handelsbelemmeringen te voorkomen en om voldoende investeringen en ontwikkeling in arme landen te realiseren, wat uiteindelijk leidt tot politieke stabiliteit in de wereld.

Veel materiële grondstoffen gaan in absolute zin lang mee als ze goed worden beheerd. We moeten materiële voorraden echter als een actueel probleem beschouwen en strategische acties ondernemen om het sociale gedrag te veranderen, zodat er geen grootschalige tekorten aan grondstoffen meer ontstaan.

Bij een uitgebreide discussie over de problemen van materialen moet rekening worden gehouden met de interacties met milieu- en energieproblemen. Alle omzettingsprocessen die een materiaal tijdens zijn levenscyclus ondergaat, brengen energieverbruik met zich mee en produceren afval. De bedreigingen voor het milieu en, meer in het algemeen, voor het ecosysteem, evenals de impact op het energieverbruik, vloeien voort uit de noodzaak van de mijnbouw om steeds grotere landoppervlakten te gebruiken voor de exploitatie van minerale hulpbronnen. Ze vloeien ook voort uit de verwerking van steeds grotere hoeveelheden materialen, als gevolg van het gebruik van laagwaardige ertsen, en uit de afvoer van steeds grotere hoeveelheden afval en schroot.

## 3.2. De beschikbaarheid van materialen

Natuurlijke grondstoffen kunnen hernieuwbaar of niet-hernieuwbaar zijn.

Hoewel de totale hoeveelheid water op aarde min of meer constant is, wordt het voortdurend gerecycled via de natuurlijke hydrologische cyclus. *Water* kan daarom worden beschouwd als een hernieuwbare hulpbron die van fundamenteel belang is voor de landbouw, de industrie en het menselijk leven. Men moet zich realiseren dat een groot deel van het water op aarde, in de oceanen en elders, zout is en daarom voor veel doeleinden ongeschikt is, en dat bovendien een enorme hoeveelheid zoet water bevroren ligt in de ijskappen.

Hoewel water in het hoofdstuk over voedsel nader zal worden behandeld, ligt de aandacht hier op industrieel gebruik. De moderne industrie verbruikt enorme hoeveelheden water, voornamelijk voor koeling, stoomopwekking, reiniging, transport en als ingrediënt in geproduceerde goederen. De elektriciteitsopwekking, staalproductie, aardolieraffinage en papierindustrie zijn de grootste waterverbruikers in de industriële sector.

Tot voor kort werd onbeperkte beschikbaarheid van water voor de industrie in niet-droge gebieden bijna als vanzelfsprekend beschouwd. Een dergelijke zelfgenoegzaamheid is niet langer mogelijk. De waterbehoefte neemt gestaag toe en in veel gebieden neemt de beschikbaarheid van geschikt water af. Het is waarschijnlijk dat de mensheid tegen het jaar 2000 vrijwel al het beschikbare zoetwater zal gebruiken. De zuiverheid van het water dat nodig is voor industrieel en civiel gebruik is van cruciaal belang. Hoewel er een overvloed aan zout water, brak water en ander onbruikbaar water is, zal er een tekort aan zoet water van aanvaardbare zuiverheid ontstaan en zullen de kosten voor waterzuivering naar verwachting stijgen. Het waterprobleem zal op middellange termijn dan ook een van de belangrijkste problemen voor de mensheid worden. De beschikbaarheid van grote hoeveelheden voldoende zuiver water is namelijk een cruciale factor voor de meeste menselijke activiteiten.

Verschillende regio's -zowel ontwikkelingslanden als geïndustrialiseerde landen- hebben al te maken met concurrentie tussen de verschillende sectoren die water verbruiken: industrie, huisvesting, landbouw. Het probleem wordt nog complexer door vervuiling, bijvoorbeeld door zware metalen afkomstig van industriële activiteiten, huishoudelijke schoonmaakmiddelen en meststoffen die in de landbouw worden gebruikt.

Vervuiling belemmert praktisch elk gebruik van de beschikbare waterbronnen, zowel grondwater als oppervlaktewater.; daarom veroorzaakt het enorme verspilling of buitensporig hoge kosten voor zowel zuivering als ontzilting.

Water moet daarom meer worden beschouwd als een managementprobleem dan als een hulpbronnenprobleem. De mogelijkheden van grote besparingen

op waterverbruik zijn aangetoond. Israël hergebruikt bijvoorbeeld 70% van zijn industrieel water. De belangrijkste technische doelstellingen zijn daarom het verhogen van de efficiëntie van het watergebruik in alle sectoren, inclusief recycling voor meervoudig gebruik, en ook het verbeteren van goedkope ontzoutingstechnieken om water beschikbaar te maken dat in zijn natuurlijke staat voor veel doeleinden onbruikbaar is. Waterontzoutingsprocessen kunnen helpen om aan de vraag te voldoen, maar hun hoge energieverbruik verhindert wijdverspreid gebruik.

*Hernieuwbare grondstoffen* voor industriële activiteiten kunnen van plantaardige oorsprong zijn, zoals bosbouwproducten (bijv. hout, cellulose, rubber) en landbouwproducten (bijv. katoen, jute), of van dierlijke oorsprong (bijv. leer, wol, zijde).

Per definitie veroorzaken hernieuwbare materialen geen permanente problemen van uitputting van hulpbronnen. Hun productie wordt wereldwijd alleen beperkt door de beschikbare landoppervlakte en door groei- en oogstcycli. Er ontstaat natuurlijk concurrentie tussen de verschillende manieren waarop het land kan worden gebruikt, en met name tussen voedselproductie en industriële gewassen. Maar binnen deze grenzen is het probleem op lange termijn om de productie in evenwicht te brengen met de vraag, rekening houdend met het feit dat het verbruik niet hoger mag zijn dan de biologische vervangingssnelheid.

*Hout* is een van de belangrijkste hernieuwbare materialen. Ondanks het toegenomen gebruik van veel concurrerende materialen blijft hout onmisbaar in de bouw, scheepsbouw en meubelproductie: hout is zelfs nog steeds het meest gebruikte constructiemateriaal ter wereld. Hout is nog steeds veruit de belangrijkste grondstof voor de papierproductie: bijna al het papier en karton wordt gemaakt van houtpulp. Een groot deel van de brandstof die in plattelandsgebieden, met name in ontwikkelingslanden, wordt verbruikt, wordt geleverd door hout. Metalen, kunststoffen en andere uitputbare materialen vervangen hout echter geleidelijk in veel van zijn toepassingen. Dit komt doordat de prijs van hout, die wordt bepaald door de beperkte beschikbaarheid op de markt, is gestegen, waardoor andere materialen concurrerend zijn geworden. Al met al zijn bosproducten een klassiek voorbeeld van hoe uitputting leidt tot hogere kosten en veranderingen in het gebruik van hulpbronnen.

*Niet-hernieuwbare grondstoffen* zijn onder meer fossiele brandstoffen en minerale ertsen die kunnen worden gebruikt voor de productie van metalen of niet-metalen materialen, zoals cement, keramiek, glas en kunststoffen.

Enkele materialen komen in de natuur voor in een vorm die de mens direct kan gebruiken. Voorbeelden hiervan zijn zand, grind, goud, diamanten en asbest. In de meeste gevallen is een vorm van chemische of fysische bewerking nodig om de natuurlijke grondstof bruikbaar te maken als materiaal. Ertsen zijn over het algemeen een mengsel van mineralen die gescheiden, verrijkt en bewerkt moeten worden om metalen of niet-metalen producten te verkrijgen. Op dezelfde manier moeten fossiele brandstoffen worden verwerkt om chemicaliën en polymeren te verkrijgen en, met enkele uitzonderingen, ook om bruikbare brandstoffen te produceren.

De gemiddelde samenstelling van de *lithosfeer*, het bovenste deel van de aardkorst, is weergegeven in figuur 34. Het is duidelijk dat alleen die mineralen gebruikt kunnen worden die voldoende geconcentreerde elementen bevatten om ze tegen economisch aanvaardbare kosten te kunnen winnen. Bij de huidige prijzen zijn slechts enkele elementen in vrijwel onbeperkte hoeveelheden beschikbaar. Voorbeelden hiervan zijn: silicium uit zand, calcium uit kalksteen, natrium en chloor uit steenzout en zeewater. Voor andere elementen (zoals aluminium, ijzer, magnesium en zwavel uit fossiele brandstoffen) zijn de potentiële reserves ook groot, als men mineralen meerekent die momenteel niet economisch winbaar zijn, maar potentieel wel bruikbaar worden met de ontwikkeling van duurdere technologieën.

Voor de meeste andere elementen zijn de bruikbare reserves beperkter. Het is slechts een kwestie van tijd voordat de ertsen zo uitgeput raken en hun gehalte zo sterk daalt dat de kosten voor de winning ervan sterk zullen stijgen. Zelfs de winning van alternatieve bronnen voor deze elementen zal duurder uitvallen.

Deze kostenstijging is te wijten aan de noodzaak van meer kapitaal, technologie en energie voor de winning en verwerking van laagwaardige ertsen en aan de noodzaak om aan bevredigende ecologische en esthetische normen te voldoen. Deze stijgingen zullen gedeeltelijk worden gecompenseerd door een daling van de exploratiekosten, schaalvoordelen, technologische verbeteringen en de ontwikkeling van processen voor het terugwinnen van alle waardevolle producten uit een bepaalde grondstof in plaats van slechts één of twee. Een belangrijk probleem hierbij is de onevenwichtigheid van de markten die onvermijdelijk zal ontstaan door de terugwinning van meerdere producten.

*Zeewater* vormt momenteel de belangrijkste commerciële bron van vier elementen: natrium, chloor, magnesium en broom. Met de ontwikkeling van nieuwe, maar duurdere technologie kan zeewater echter een vrijwel onuitputtelijke bron van vele andere elementen worden.

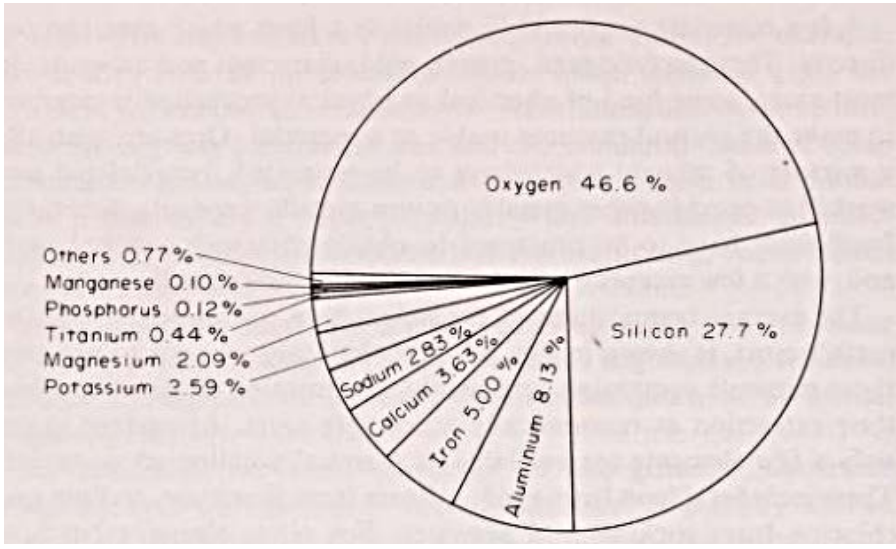



Fig. 34. Het percentage van de belangrijkste elementen in de lithosfeer.

TABEL 12
CONCENTRATIE VAN DE BELANGRIJKSTE ELEMENTEN OPGELOST IN ZEEWATER

| Element | Concentratie (ppm) |
|---|---|
| Chloor | 18,980 |
| Natrium | 10,561 |
| Magnesium | 1272 |
| Zwavel | 884 |
| Calcium | 400 |
| Kalium | 380 |
| Broom | 65 |
| Koolstof | 28 |
| Strontium | 13 |
| Borium | 4.6 |
| Fluor | 1.4 |
| Rubidium | 0.2 |
| Lithium | 0.1 |
| Iodine | 0.05 |
| Uranium | 0.00015-0.0016 |

die tegenwoordig op een economischere manier uit de lithosfeer worden gewonnen (zie Tabel 12). Het is duidelijk dat het vooral gaat om elementen die in zeewater in grote hoeveelheden voorkomen. Hiertoe behoren kalium, strontium, boor, fluor, lithium en rubidium. Andere elementen die in veel lagere concentraties zijn opgelost, maar van groot strategisch belang zijn, mogen echter niet worden verwaarloosd. Hiertoe behoort bijvoorbeeld uranium, waarvan de concentratie in de orde van grootte van 0,1-1 ppb ligt.

Slechts enkele gasvormige elementen zijn van fundamenteel belang voor industriële processen. De lucht is een bron van zes commercieel belangrijke gassen (zuurstof, stikstof, argon, neon, krypton en xenon) die met behulp van beproefde technologieën kunnen worden teruggewonnen. Een ander belangrijk gas is waterstof, dat kan worden verkregen door elektrolyse van water of als bijproduct van aardolieraffinage. Als waterstof zou worden gebruikt als

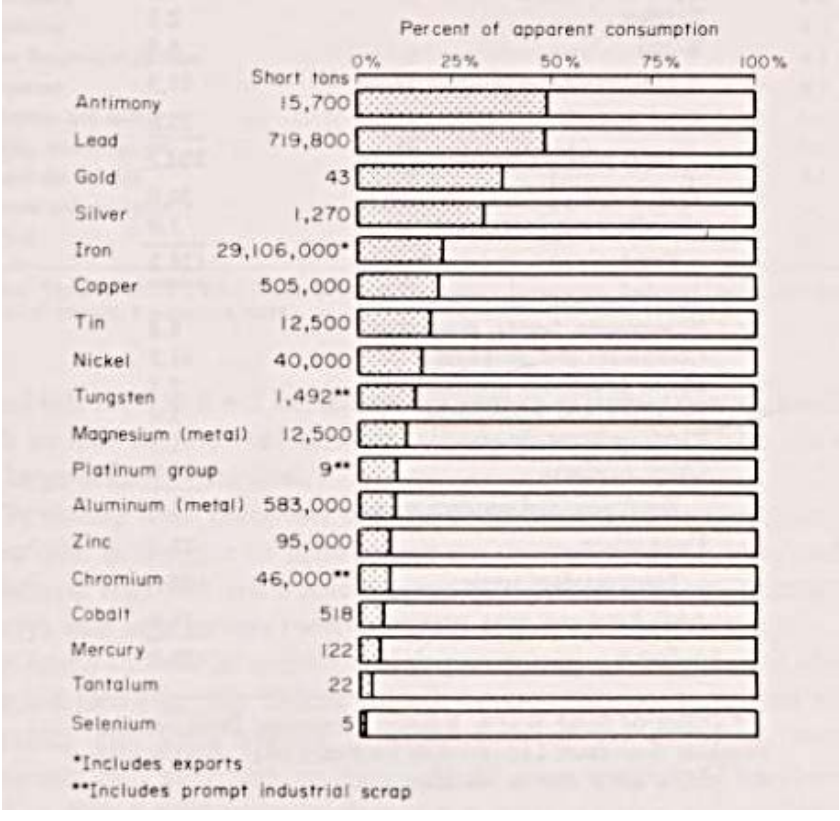



Fig. 35. Oud schroot dat in de Verenigde Staten wordt teruggewonnen voor bepaalde materialen (1978).
(Bron: Bureau of Mines, U.S. Department of the Interior. 1979.)

TABEL 13

Nettohoeveelheid vast afval na consumptie, per materiaal- en productcategorie (nat gewicht zoals gegenereerd, in miljoenen tonnen)

| Materialen en producten | 1975 |
|---|---|
| Materiaal samenstelling: | |
| Papier | 37.2 |
| Glas | 13.3 |
| Metaal | 12.2 |
| Ijzerhoudend | (10.8) |
| Aluminum | ( 0.9) |
| Ander | ( 0.4) |
| Plastics | 4.4 |
| Rubber and leer | 3.3 |
| Textiel | 2.1 |
| Hout | 4.9 |
| Totaal niet-voedselproductafval | 77.5 |
| Voedsel afval | 22.8 |
| Totaal product afval | 100.3 |
| Tuin afval | 26.0 |
| Diverse anorganische stoffen | 1.9 |
| Totaal | 128.2 |
| Productsamenstelling: | |
| Kranten, boeken, tijdschriften Containers en verpakkingen | 9.8<br>41.7 |
| Grote huishoudelijke apparaten Meubels en inrichting | 2.3<br>3.4 |
| Kleding en schoeisel | 1.3 |
| Overige producten | 18.9 |
| Totaal afval van niet-voedingsmiddelen | 77.5 |
| Voedsel afval | 22.8 |
| Totaal productafval | 100.3 |
| Toevoegen: Tuin en diverse organische stoffen | 27.9 |
| Totaal | 128.2 |

* Office of Solid Waste, Resource Recovery Division, Franklin and Associates Ltd. Revised February 1977. Door afronding kunnen de details mogelijk niet overeenkomen met de totalen.

Tabel 14

VERODUDERING VAN IJZER- EN STAALHOUDENDE PRODUCTEN IN DE VS EN DE FEITELIJKE TERUGWINNING IN 1974 (MILJOEN TON IJZERHOUDENDE MATERIALEN)

| Marktcategorie | Assumed average usful life (years) | Quantity | Percentage recycled | Metal reclaimed |
|---|---|---|---|---|
| Automobielindustrie | 13 | 11.2 | 89 | 9.9 |
| Machines, inclusief apparatuur | 16 | 8.2 | 77 | 6.3 |
| Spoorvervoer | 30 | 5.9 | 86 | 5.1 |
| Alle gietstukken van ijzer en staal | 19 | 9.1 | 24 | 2.2 |
| Bouw, inclusief onderhoud | 30 | 6.8 | 29 | 2.0 |
| Aannemersproducten | 27 | 3.8 | 38 | 1.4 |
| Elektrische machines | 18 | 2.4 | 42 | 1.0 |
| Scheepsbouw en scheepvaart | 30 | 0.7 | 75 | 0.5 |
| Landbouw | 20 | 1.5 | 25 | 0.4 |
| Apparaten | 11 | 2.5 | 7 | 0.2 |
| Overige huishoudelijke apparatuur | 12 | 2.7 | 7 | 0.2 |
| Containers | < 1 | 9.6 | 2 | 0.2 |
| Wapens en militair | 15 | 1.0 | 20 | 0.2 |
| Mijnbouw, steengroeven, enz. | 16 | 0.4 | 25 | 0.1 |
| Olie- en gasboringen | 30 | 1.1 | 9 | 0.1 |
| Vliegtuigen en ruimtevaart | 20 | 0.1 | - | - |
| Totaal | | 72.5 | | 29.7 |

Bron: Congress of the United States. Office of Technology Assessment Technical Option for Conservation of Metals, Washington, 1979.

en brandstof (zie paragraaf 2.4.2 over secundaire energiesystemen) Voor grootschalige productie zou nieuwe technologie nodig zijn, zoals indirecte thermische ontleding van water.

*Eerder gebruikte materialen* kunnen worden beschouwd als een aanvullende bron van materialen: in het geval van metalen worden ze gedefinieerd als *oud schroot* en worden ze samen met *huishoudelijk schroot* (geproduceerd binnen de primaire industrie) en *nieuw schroot* afkomstig van de verwerkende industrie teruggewonnen.

In veel industriële sectoren wordt al een groot percentage van de materialen gerecycled (zie figuur 35). Hoewel het materiaalverbruik toeneemt, kan recycling slechts een deel van de vraag dekken, aangezien uiteraard alleen materialen die niet meer worden gebruikt, kunnen worden gerecycled. Recycling speelt dus een rol, maar kan op zichzelf het probleem van de grondstoffenvoorziening niet oplossen. Een bredere en efficiëntere toepassing van materiaalrecycling kan echter een belangrijke maatregel zijn om het verbruik van voorraden te verminderen.

met gunstige gevolgen voor de energievraag en het milieu.

Tabel 13 toont de hoeveelheid vast afval die in de Verenigde Staten wordt afgevoerd, terwijl tabel 14 de herbruikbaarheid van ijzer- en staalmaterialen in verschillende producten en constructies illustreert.

Hoewel er al enkele recyclingtechnologieën bekend zijn, kunnen deze nog aanzienlijk verbeterd worden. Dit vereist onderzoek, investeringen en een krachtigere ontwikkeling van technologieën die geen afval produceren. Bij het recyclingprobleem moeten consumptiegoederen en industriële apparatuur afzonderlijk worden beschouwd. Een groot deel van de onderdelen van industriële apparatuur wordt immers al hergebruikt of gerecycled, terwijl de inzamelings- en verwerkingstechnieken voor huishoudelijk en industrieel afval nog verder ontwikkeld moeten worden.

### *3.2. 1. Reserves en natuurlijke hulpbronnen*

Het probleem van de minerale bevoorrading kent een aantal onderling samenhangende aspecten: de natuurlijke beschikbaarheid van verschillende minerale materialen, hun geografische en geopolitieke verspreiding; de kosten van winning, concentratie en transport; en de productiecapaciteit en het potentieel van mijnen en velden.

Variatie in terminologie en verschillen in het gebruik van termen dragen bij aan de verwarring en misverstanden rond minerale schattingen. Daarom moet elke schatting worden begrepen binnen de context van de beperkingen en aannames van de persoon die de schatting maakt.

Een groot deel van de momenteel gebruikte indeling is gebaseerd op de aanbevelingen van F. Blondel en S. G. Lasky*, die in 1956 namens een internationaal comité van de Society of Economy Geologists zijn gedaan en door dit comité zijn goedgekeurd. In hun terminologie is de term “reserves” beperkt tot de geschatte hoeveelheden minerale materialen die met de bestaande technologie economisch winbaar (exploiteerbaar) worden geacht, terwijl ‘bronnen’ staan voor “reserves” plus alle minerale materialen die onder gunstigere omstandigheden economisch winbaar zouden kunnen worden.

Uitbreiding van de indeling van Blondel-Lasky door de Commissie

* F. Blondel and S. G. Lasky, Mineral reserves and mineral resources, *Economic Geology* 51 (7) (1956).

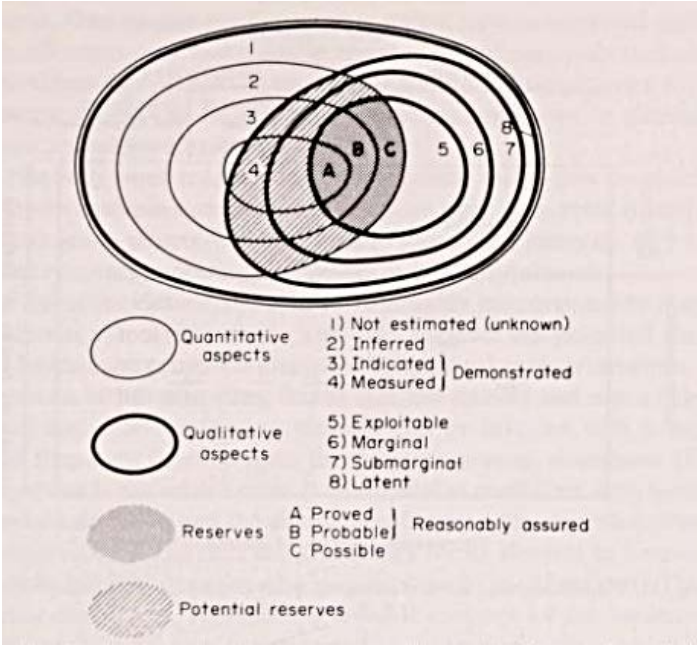


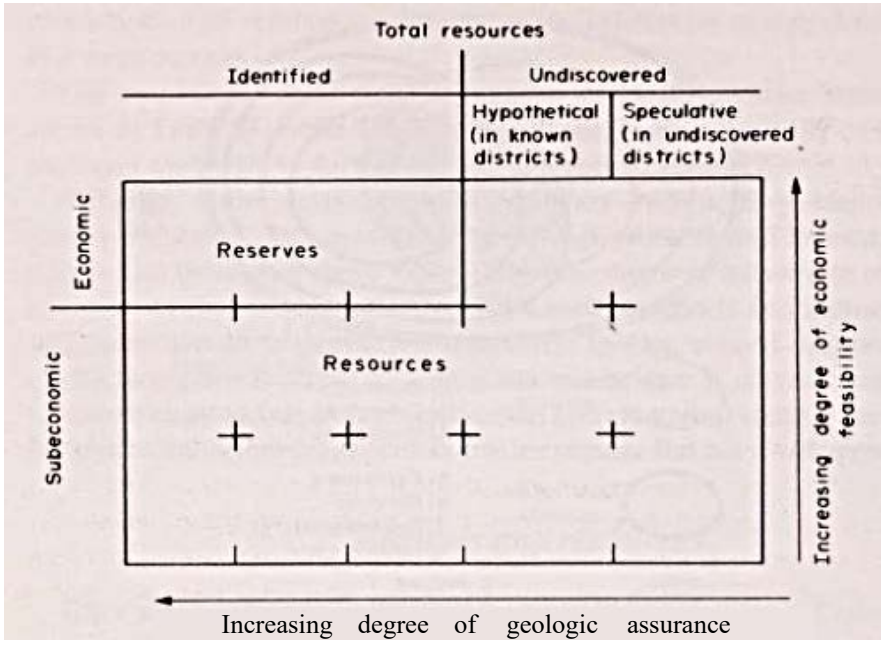

Fig. 36. Indeling van minerale hulpbronnen volgens de Commissie van de Europese Gemeenschappen.

van de Europese Gemeenschappen* (Fig. 36) en zowel de U.S. Geological Survey als het U.S. Bureau of Mines (Fig. 37), hebben benadrukt dat bij het definiëren en beoordelen van reserves en hulpbronnen rekening moet worden gehouden met twee belangrijke factoren: (i) de mate van geologische zekerheid over het bestaan en de omvang ervan en (ii) de haalbaarheid van winning onder de bestaande economische en technologische omstandigheden. Deze twee factoren worden beïnvloed door de processen van ontdekking, technologische vooruitgang en economische verandering waardoor hulpbronnen worden omgezet in reserves.

In het verleden werden de hoeveelheden grondstoffen die economisch bruikbaar werden geacht, door deze processen vele malen vermenigvuldigd. Momenteel rapporteren de meeste gepubliceerde schattingen van toekomstige voorraden alleen de reserves van materialen waarvan de kwaliteit en kwantiteit door exploratie zijn vastgesteld en waarvan de winbaarheid door middel van technologie beschikbaar is tegen de

---

• *Tweede doelprogramma voor kernenergie in de Gemeenschap,* Bijlage IV, De brandstofcyclus (juli 1972).




Fig, 37. Indeling van minerale hulpbronnen volgens de U.S. Geological Survey en het U.S. Bureau of Mines.

huidige prijzen. Dergelijke schattingen geven echter geen indicatie van de grotere hulpbronnen die door creatief en agressief onderzoek, exploratie en technologie in reserves kunnen worden omgezet. De U.S. Geological Survey heeft echter een uitgebreide beoordeling gepubliceerd van reserves en hulpbronnen in de Verenigde Staten en de rest van de wereld*, inclusief huidige subeconomische afzettingen en winbare afzettingen die nog niet zijn ontdekt, maar waarvan op basis van geologisch bewijs wordt aangenomen dat ze bestaan.

De schattingen zijn ontnuchterend en geven geen reden tot zelfgenoegzaamheid over de beschikbaarheid van mineralen in de toekomst. Voor de meeste mineralen zullen de berekende potentiële reserves slechts voor enkele decennia aan de verwachte vraag kunnen voldoen. Slechts in enkele gevallen wordt verwacht dat de voorraden langer dan een eeuw zullen meegaan.

De U.S. Geological Survey erkent echter dat haar schattingen waarschijnlijk conservatief zijn. De geologische kennis van het aardoppervlak is niet voldoende om alle formaties te identificeren waarin bruikbare mineralen

* USGS Professional Paper 820, 1973.

kunnen voorkomen. Het is onmogelijk te voorspellen in hoeverre onvoorstelbare technologische vooruitgang ervoor kan zorgen dat materialen die nu waardeloos zijn, bruikbare reserves worden. Onze industriële samenleving heeft genoeg ervaring met het creatieve proces om er zeker van te zijn dat bruikbare materialen kunnen worden gewonnen uit bronnen die nu nog niet te voorzien zijn.

De relatief geringe omvang van het potentieel dat nu zichtbaar is, benadrukt echter de dringende noodzaak om krachtig door te gaan met onderzoek en exploratie om nieuwe bronnen van mineralen aan te boren en de winning en verwerking van grondstoffen te verbeteren

De reserves van de elementen lijken ongeveer evenredig te zijn aan hun voorkomen in de aardkorst. Dit feit suggereert dat er mogelijk meer potentieel is dan de vooruitzichten die door regionale geologische analyse zijn geïdentificeerd.* Bovendien is ook gebleken dat de kwaliteit en omvang van de bodemschatten en reserves voor elk element kunnen worden afgeleid met een log-binomiale frequentiefunctie uit het gemiddelde voorkomen (X) van het element en de verspreiding ervan in de aardkorst. ** Een dispersiecoëfficiënt bepaalt de standaarddeviatie en de verdelingsfunctie voor elke onderverdeling van het milieu en daarmee de waarschijnlijkheid dat een element wordt verrijkt in minerale afzettingen met bepaalde grootte-/kwaliteitsspecificaties. Deze dispersiecoëfficiënt, die een directe maatstaf is voor de mate waarin een element zich concentreert in minerale afzettingen, wat kenmerkend is voor elk element, wordt de "specifieke mineraliseerbaarheid" (Q) van een element genoemd.***

De gemiddelde abundantie en specifieke mineraliseerbaarheid bepalen ook in grote mate de prijsverschillen op lange termijn tussen verschillende mijnbouwproducten. Deze relatie, die is vastgesteld door niet-lineaire

* V. E. McKelvey, the *American Journal of Science*, 1960; R. L. Erickson, U.S. Geol. Survey Papor 820, 1973.

** J. W. Brinck, *24th International Geological Congress, Montreal*, Section IV. Mineral Deposits, 1972.

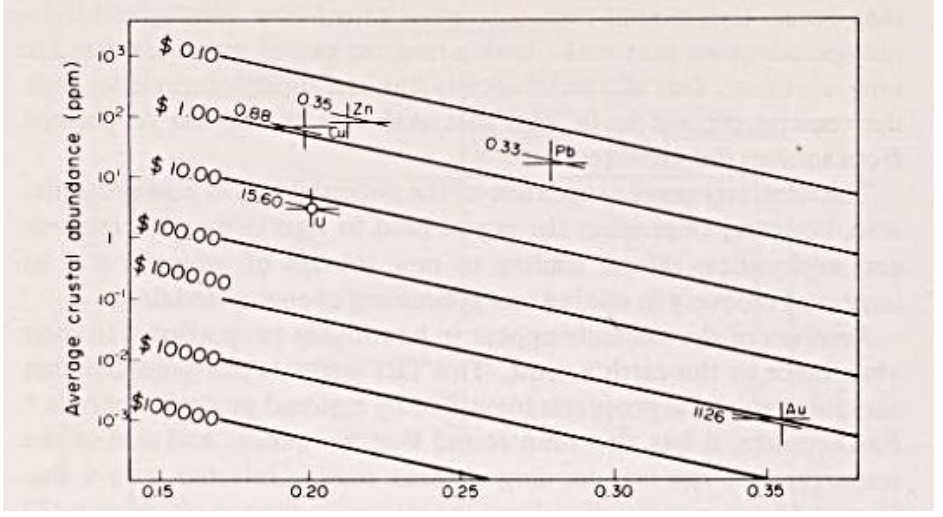
*** The mathematical meaning of *Q* can be easily grasped from the expression:

$$\sigma = 0.5\sqrt{\alpha}.\ln\left[\frac{1+Q}{1-Q}\right]$$

σ = standard deviation,

α = order of subdivision of the environment when the number of deposits of size *r* in the environment of site *R* is $2^{\alpha}$ ,

*Q* = specific mineralizability.




Specifieke mineraliseerbaarheid $Q$

Fig. 38. Langetermijnprijzen van metalen per kg als functie van de gemiddelde concentratie in de lithosfeer en de specifieke mineraliseerbaarheid Q. De langetermijngemiddelde prijzen zijn uitgedrukt in US$ op 1 januari 1971 (goud tegen US$ 25,00 per oz). Het cijfer is afgeleid van de volgende formule:

$$\text{U.S.\$/kg contained metal} = e^{\frac{(8.96637 - 25.5688 \times Q)}{X \times 10^6}}$$

De werkelijk waargenomen waarden voor de lange-termijn-gemiddelde prijs, gemiddelde voorkomen in de aardkorst en specifieke mineraliseerbaarheid van goud, koper, zink en lood, evenals de laatste twee waarden voor uranium, zijn in deze figuur weergegeven en op basis daarvan is een richtprijs voor uranium vastgesteld. De prijzen zijn uitsluitend gebaseerd op technische overwegingen; politieke situaties of monopolies kunnen de prijzen natuurlijk beïnvloeden: In januari 1980 zorgde een wereldwijde run op veilige beleggingen ervoor dat de goudprijs steeg tot 800 U.S.$ per ounce.

meervoudige regressieanalyses op de langetermijngemiddelde prijzen, gemiddelde abundantie in de aardkorst en specifieke mineraliseerbaarheid van goud, koper, zink en lood, wordt geïllustreerd in Fig. 38. Oorspronkelijk gebruikt om een richtprijs voor uranium* te bepalen, bleek deze relatie ook geldig te zijn voor de meeste andere minerale grondstoffen, met verwijzing naar de prijzen van 1971, een tijd van internationale economische stabiliteit. Het verklaart bijvoorbeeld, uit de

---

* *Deuxième Programme Indicatif pour la Communauté Européenne de l'Energie Atomique,* Brussel, 1972.

verschillen in specifieke mineraliseerbaarheid waarom uranium ($15,60/kg; Q = 0,200), dat ongeveer 30 keer zo overvloedig aanwezig is als kwik ($7,40/kg; Q = 0,376), ook meer dan twee keer zo duur is.

Een econometrisch, beschrijvend model van de mijnbouwsector* is gebaseerd op deze relaties. Het model geeft aan dat, rekening houdend met een geleidelijke maar niet noodzakelijkerwijs kritieke uitputting van een bepaald mineraalproduct en met veranderingen in het vraagpatroon, De langetermijnprijsverhoudingen zullen onder vrije marktomstandigheden naar verwachting slechts zeer geleidelijk veranderen. De prijsverhoudingen tussen elementen met een hogere en lagere specifieke mineraliseerbaarheid zullen echter een systematische neiging tot stijging vertonen bij aanhoudende vraag. Geopolitieke factoren kunnen ook een grotere rol spelen voor minerale producten met de hoogste specifieke mineralisatiegraad (Q = 0,25), zoals blijkt uit de voorbeelden van goud, chroom, tin en, naar analogie, aardolie.

Algemene modellen van het Mimic-type houden duidelijk geen rekening met speciale situaties die van toepassing zijn op individuele elementen: zo hebben bijvoorbeeld de milieubezwaren tegen het gebruik van kwik de afgelopen tien jaar geleid tot een daling van zowel de prijs als de wereldproductie, die daalde van 10.571 ton in 1971 tot 6.066 ton in 1978.

Dit model geeft verder aan dat voor de meeste elementen tussen 1/10.000 en 1/1000 van hun totale hoeveelheid die beschikbaar is in de bovenste 2,5 km van de continentale korst potentieel winbaar zou zijn met de huidige technologie, tegen minder dan 2 tot 3 keer hun huidige prijs. Nauwkeurigere cijfers zouden opnieuw afhangen van de waarde van hun respectieve specifieke mineraliseerbaarheid.

Tabel 15 illustreert de afgeleide winbare reserves voor een aantal elementen, zoals onafhankelijk geschat door het Mimic-model (reserves tot een diepte van 2,5 km tegen minder dan 2 tot 3 keer de huidige prijs) en door de USGS (United States Geological Survey)(reserves tot een diepte van 1 km tegen ongeveer de huidige prijs), en vergelijkt deze met hun conventioneel geschatte reserves.

Hoewel we ons misschien nog steeds in de beginfase van de exploratie en ontwikkeling van delfstoffen bevinden, met een groot onbenut potentieel, is het duidelijk dat de problemen die voor ons liggen enorm zijn. Zoals eerder vermeld, moeten onderzoek en ontwikkeling hard werken om succes te boeken.De verschuiving naar lagere kwaliteit

---

* Mimic, *Eurospectra,* Vol. X,no. 2 (June 1971).

TABEL 15

AANWEZIGHEID, HULPBRONNEN EN RESERVES VAN BEPAALDE ELEMENTEN IN DE AARDKORST

| Element | Gemiddelde concentratie in de aardkorst | Potentieel aan winbare hulpbronnen (metrische ton) | | Geschatte reserves |
|---|---|---|---|---|
| | | Mimic | USGS | USBM (1976) |
| Aluminium | 0.083 | $8 \times 10^{12\text{-}13}$ | $3.5 \times 10^{12}$ | $5.1 \times 10^{9}$ |
| Iron | 0.048 | $5 \times 10^{12\text{-}13}$ | $2.0 \times 10^{12}$ | $9.3 \times 10^{10}$ |
| Titanium | 0.0053 | $5 \times 10^{11\text{-}12}$ | $2.3 \times 10^{11}$ | $3.0 \times 10^{8}$ |
| Phosphorus | 0.0012 | $1 \times 10^{11\text{-}12}$ | $5.1 \times 10^{10}$ | $3.7 \times 10^{9}$ |
| Manganese | 0.0010 | $1 \times 10^{11\text{-}12}$ | $4.2 \times 10^{10}$ | $1.6 \times 10^{9}$ |
| Fluorine | 0.00047 | $5 \times 10^{10\text{-}11}$ | $2.0 \times 10^{10}$ | $3.4 \times 10^{7}$ |
| Barium | 0.0004 | $4 \times 10^{10\text{-}11}$ | $1.7 \times 10^{10}$ | $1.8 \times 10^{8}$ |
| Vanadium | 0.00012 | $1 \times 10^{10\text{-}11}$ | $5.1 \times 10^{9}$ | $1.0 \times 10^{7}$ |
| Zinc | 0.000081 | $8 \times 10^{9\text{-}10}$ | $3.4 \times 10^{9}$ | $1.5 \times 10^{8}$ |
| Chromium | 0.000077 | $8 \times 10^{9\text{-}10}$ | $3.3 \times 10^{9}$ | $7.5 \times 10^{8}$ |
| Nickel | 0.000061 | $6 \times 10^{9\text{-}10}$ | $2.6 \times 10^{9}$ | $5.4 \times 10^{7}$ |
| Copper | 0.000050 | $5 \times 10^{9\text{-}10}$ | $2.1 \times 10^{9}$ | $4.6 \times 10^{8}$ |
| Lithium | 0.000022 | $2 \times 10^{9\text{-}10}$ | $9.3 \times 10^{8}$ | $7.8 \times 10^{5}$ |
| Niobium | 0.000020 | $2 \times 10^{9\text{-}10}$ | $8.5 \times 10^{8}$ | $1.0 \times 10^{7}$ |
| Cobalt | 0.000018 | $2 \times 10^{9\text{-}10}$ | $7.6 \times 10^{8}$ | $1.5 \times 10^{6}$ |
| Lead | 0.000013 | $1 \times 10^{9\text{-}10}$ | $5.5 \times 10^{8}$ | $1.3 \times 10^{8}$ |
| Thorium | 0.0000068 | $7 \times 10^{8\text{-}9}$ | $2.9 \times 10^{8}$ | $7.0 \times 10^{5}$ |
| Tantalum | 0.0000023 | $2 \times 10^{8\text{-}9}$ | $9.7 \times 10^{7}$ | $5.9 \times 10^{4}$ |
| Uranium | 0.0000022 | $2 \times 10^{8\text{-}9}$ | $9.3 \times 10^{7}$ | $8.3 \times 10^{5}$ |
| Tin | 0.0000016 | $2 \times 10^{8\text{-}9}$ | $6.8 \times 10^{7}$ | $1.0 \times 10^{7}$ |
| Beryllium | 0.0000015 | $2 \times 10^{8\text{-}9}$ | $6.4 \times 10^{7}$ | $3.8 \times 10^{5}$ |
| Tungsten | 0.0000012 | $1 \times 10^{8\text{-}9}$ | $5.1 \times 10^{7}$ | $1.9 \times 10^{6}$ |
| Molybdenum | 0.0000011 | $1 \times 10^{8\text{-}9}$ | $4.7 \times 10^{7}$ | $9.0 \times 10^{6}$ |
| Antimony | 0.00000045 | $5 \times 10^{7\text{-}8}$ | $1.9 \times 10^{7}$ | $4.3 \times 10^{6}$ |
| Mercury | 0.00000008 | $8 \times 10^{6\text{-}7}$ | $3.4 \times 10^{6}$ | $1.8 \times 10^{5}$ |
| Silver | 0.000000065 | $7 \times 10^{6\text{-}7}$ | $2.8 \times 10^{6}$ | $1.9 \times 10^{5}$ |
| Selenium | 0.000000059 | $6 \times 10^{6\text{-}7}$ | $2.5 \times 10^{6}$ | $1.7 \times 10^{5}$ |
| Platinum | 0.000000028 | $3 \times 10^{6\text{-}7}$ | $1.2 \times 10^{6}$ | $9.2 \times 10^{3}$ |
| Gold | 0.0000000035 | $4 \times 10^{5\text{-}6}$ | $1.5 \times 10^{5}$ | $3.8 \times 10^{4}$ |
| Bismuth | 0.0000000029 | $3 \times 10^{5\text{-}6}$ | $1.2 \times 10^{5}$ | $8.3 \times 10^{4}$ |
| Tellurium | 0.00000000036 | $4 \times 10^{4\text{-}5}$ | $1.5 \times 10^{4}$ | $4.6 \times 10^{4}$ |

grondstoffen zullen het energieverbruik doen toenemen en het milieu zwaarder belasten, aangezien er door de winning van delfstoffen grotere hoeveelheden aarde worden verstoord. Zelfs met enorme inspanningen kunnen we niet voldoen aan de exponentieel groeiende vraag naar nieuwe materialen uit een eindige aarde.

Een voorraad van een miljard jaar van wat dan ook, gemeten in termen van het huidige verbruik, zou bij een stijging van slechts 3% in 584 jaar uitgeput zijn *

Hoewel het belangrijk is om onderzoek, exploratie en technologische ontwikkeling op het gebied van nieuwe voorraden te bevorderen, is het duidelijk dat maatregelen om het verbruik van mineralen te verminderen essentieel zijn voor het welzijn van toekomstige generaties. Recycling, afvalpreventie, efficiënter gebruik, zuinig omgaan met en vervanging van schaarse materialen door materialen die in overvloed aanwezig zijn, zijn de belangrijkste manieren om de voorraden te vergroten en moeten in de toekomst meer aandacht krijgen.

## *3.2.2. Mineralen uit de zee*

De elementen die in zeewater zijn opgelost, vormen een enorme bron van grondstoffen voor de mensheid. Afgezien van de enkele elementen die in hoge concentraties aanwezig zijn en die al worden gewonnen, levert de terugwinning van een groot aantal andere elementen ernstige technische problemen op vanwege hun zeer lage concentratie en de enorme hoeveelheden vloeistof die zouden moeten worden verwerkt. Economische redenen belemmeren de terugwinning van deze elementen met conventionele technieken, zoals chemische verwerking, elektrolyse of ionenuitwisseling. Het onderzoek op deze gebieden moet geheel nieuwe wegen inslaan, zoals de biologische fixatie van specifieke metalen op mariene organismen.

---

• * In het algemene geval waarin de groei ($\alpha$) of consumptie ($C$) niet 0 is, worden de reserves $R$ volledig verbruikt wanneer:

$$R = C \sum_{i=0}^{t-1} (1 + \alpha)^i$$

waarbij $t$ het aantal jaren vertegenwoordigt, als we $t$ oplossen, krijgen we:

$$t = \frac{\ln(1 + \alpha\, R/C)}{\ln(1 + \alpha)}$$

die in de limiet naar R/C convergeert als $\alpha$ naar nul neigt.

Naast opgeloste elementen bevinden zich nog andere grote potentiële grondstoffen op en onder de oceaanbodem. Deze omvatten: Mineralen en fossiele brandstoffen (offshore olie en gas zijn besproken in hoofdstuk 2) die zich bevinden in *sedimentgesteenten* op de continentale plateaus en hellingen en buiten de continentale marges. Er worden ook experimenten uitgevoerd voor de exploratie van metaalrijke sedimenten en knollen uit de oceaanbodem. *Mangaan-knollen* vormen een belangrijke potentiële bron, niet alleen van mangaan, maar ook van koper, kobalt en nikkel. Ondanks veel onderzoek naar de aard, samenstelling en verspreiding van deze knollen, is onze kennis over deze hulpbron nog steeds beperkt. De knollen-populatie en hun metaalgehalte vertonen grote regionale verschillen. Hoewel er wel exploratieactiviteiten gaande zijn, zijn de gedetailleerde gegevens waarop mijnbouwplannen en grondstof-berekeningen gebaseerd kunnen worden nog niet volledig beschikbaar. Dit kan worden beschouwd als een indicatie dat er grote gebieden zijn geïdentificeerd waar de knollen gemiddeld meer dan 25% mangaan, 1% koper, 1% nikkel en 0,25% kobalt bevatten, naar gewicht. De waarde van de metalen in dergelijke knollen zou, volgens de prijzen van 1978, veel meer bedragen dan 300 $/ droge ton. De rijkste gebieden bevatten mogelijk ongeveer 13,500 ton/ $km^2$ . De reserves in gebieden met een exploiteerbare populatie van knollen zijn ongetwijfeld zeer groot. Er wordt geschat dat er alleen al in de Stille Oceaan ongeveer 2 x $10^{12}$ ton aanwezig is. Het opbaggeren van de knollen uit grote diepte vereist nieuwe mijnbouwtechnieken, en de winning van de metalen vraagt om innovatieve metallurgische processen. Er worden experimenten uitgevoerd door de industrie en sommige overheden, maar het opgraven van de knollen van de oceaanbodem blijkt aanzienlijke moeilijkheden te opleveren, en er bestaan objectieve problemen met betrekking tot de betrouwbaarheid en levensduur van de apparatuur, die moet functioneren onder extreem zware omstandigheden. *Fosfaat knollen* zijn ook aanwezig op de oceaanbodem, maar zal pas op de lange termijn worden benut, aangezien er momenteel nog aanzienlijke economisch winbare fosfaatvoorraden in de grond aanwezig zijn. *"Placer"-afzettingen of rivierafzettingen* in of onder nu onder water gelegen stranden. Momenteel worden diamanten, goud, tin, titaniumertsen (rutiel, ilmeniet) gewonnen.

Primaire minerale afzettingen in kristallijn gesteente dat op de zeebodem ligt of onder sedimenten. Deze kunnen worden gewonnen door toegang vanaf het aangrenzende land of vanaf kunstmatige eilanden.

Helaas is de geologische kennis over de continentale platen, de structuur van de oceaanbodem en de omvang van de knolafzettingen zeer beperkt. De ontginning van deze grondstoffen vereist versneld onderzoek op het gebied van mariene geologie om een betrouwbare evaluatie te kunnen maken van de technisch-economische haalbaarheid van de exploitatie van mariene grondstoffen. Er moeten ook een aantal technische innovaties worden doorgevoerd voor de winning van mineralen van de zeebodem en voor de verwerking ervan, waarbij speciale aandacht moet worden besteed aan de daarmee samenhangende energie- en milieuproblemen.

De exploitatie van de oceanen roept ernstige politieke problemen op. De hulpbronnen in extraterritoriale wateren behoren toe aan de hele mensheid. Verwacht wordt echter dat de landen die over de nodige technologieën en kapitaal beschikken, zullen beginnen met de exploitatie van de rijkste en meest gemakkelijk te exploiteren afzettingen.

Het is daarom dringend noodzakelijk om snel een haalbare internationale wetgeving inzake extraterritoriale wateren uit te werken.

Het grootste probleem is het codificeren en reguleren van de exploitatie van mariene hulpbronnen, zowel levende als minerale, in overeenstemming met de behoeften van de verschillende landen, die afhankelijk van de omstandigheden in verschillende groepen zijn onderverdeeld: ontwikkelde versus ontwikkelingslanden, kustlanden versus continentale landen, grootmachten versus kleine landen.

In de voorbereidende besprekingen is de hoop uitgesproken dat er een internationale instantie wordt opgericht voor het beheer van de zone, die een gemeenschappelijk erfgoed is van de hele mensheid en begint op een afstand van 200 zeemijl (370,4 km) van de kustlijn. De 200 mijl brede zeestraat langs de kust is de “exclusieve economische zone” van het land dat door deze wateren wordt omringd, en de territoriale wateren zijn 12 zeemijl breed (22.22 km).

De definitie van dergelijke grenzen wordt nu algemeen aanvaard. Er zal ook een overeenkomst nodig zijn om de toegang van buitenlandse schepen en onderzoekers tot exclusieve economische zones te vergemakkelijken, zodat fundamenteel oceanografisch onderzoek, waarvan de resultaten voor alle landen van belang zijn, niet wordt belemmerd.

## *3.2.3. Schaarse elementen*

Intrinsiek schaarse elementen zijn over het algemeen elementen met een hoge specifieke mineraliseerbaarheid, zoals goud, kwik en wolfraam. Door de groeiende vraag naar deze elementen moet men rekening houden met aanzienlijke prijsstijgingen. Economisch gezien kunnen aardolie en steenkool worden beschouwd als behorend tot dezelfde groep materialen, die wordt gekenmerkt door uitgesproken kostenstijgingen naarmate de voorraden uitgeput raken. Onder de gasvormige elementen bevindt helium zich in een vergelijkbare positie. Voor vergelijkbare zeldzame elementen met een lagere specifieke mineraliseerbaarheid zijn de exploitatiekosten in het begin doorgaans iets hoger. De kostenstijgingen bij voortschrijdende uitputting zijn echter veel minder uitgesproken en voor sommige materialen kunnen de kosten nog worden verlaagd door de productie te verhogen.

Men moet zorgvuldig de belangrijkste toepassingen van deze elementen onderzoeken en de objectieve mogelijkheden voor de ontwikkeling van alternatieve materialen en technologieën bestuderen. Uit een dergelijke analyse blijkt dat er in veel gevallen geen conceptuele belemmeringen zijn om deze materialen te vervangen door materialen die in grotere hoeveelheden beschikbaar zijn. Het gebruik van vervangende materialen en de daarmee samenhangende nieuwe technologieën vereist uiteraard onderzoek en ontwikkeling, waarmee onmiddellijk een begin moet worden gemaakt.

Er moet een aanzienlijke inspanning worden geleverd om vast te stellen welke van deze schaarse grondstoffen een tekort kunnen gaan ontwikkelen. Een dergelijk onderzoek zou tijd geven om de schaarse mineralen te vervangen door mineralen die in grotere hoeveelheden beschikbaar zijn.

*Wolfraam* wordt vanwege zijn opmerkelijke technische en fysische eigenschappen op grote schaal gebruikt wanneer hardheid, taaiheid, corrosiebestendigheid en goede prestaties bij hoge temperaturen vereist zijn. Ongeveer 50% van het verbruik gaat rechtstreeks naar de staalsector: om deze reden, en gezien de toekomstige schaarste aan grondstoffen, moet het onderzoek naar vervangende materialen of alternatieve technologieën zich op deze sector concentreren. (Fig. 39).

*Kwik* is een element waarvoor vervangingsonderzoek is uitgevoerd onder impuls van wetgeving ter bestrijding van vervuiling. In verschillende toepassingen (zoals katalysatoren, geneesmiddelen, additieven voor verf en kunststoffen, tandheelkundige materialen) is kwik al ten minste gedeeltelijk vervangen. Zelfs voor de belangrijkste toepassingen, namelijk als kathode voor elektrolytische cellen voor de productie van chloor en loog, is de alternatieve technologie van kwikvrije diafragma- of membraancellen algemeen bekend.

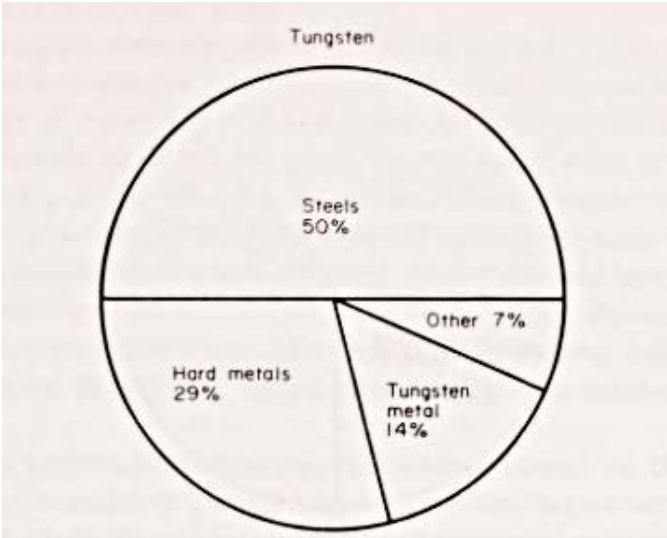



Fig. 39. Percentageverdeling van het verbruik van wolfraam (EEC, 1977).

De situatie voor *zilver* is heel anders (zie fig. 40). Bijna 30% van het verbruik vindt plaats in zilveren en verzilverde voorwerpen, juwelen en munten en niet in industriële toepassingen. De grootste technologische toepassing is in de fotografie, een moderne industrie die gestaag vooruitgang boekt. Ondanks meer dan 100 jaar onderzoek is er nog geen materiaal gevonden dat de snelheid en veelzijdigheid van zilver in deze toepassingen evenaart. Maar voor een aantal speciale toepassingen, zoals het kopiëren van documenten, luchtfotografie, lithografie en de fotografische productie van gedrukte schakelingen, maken op zilver gebaseerde systemen langzaam plaats voor andere, goedkopere technieken. De zoektocht naar nieuwe lichtgevoelige materialen die niet op zilver zijn gebaseerd, blijft een uiterst belangrijke doelstelling.

*Platina* (zie afb. 41) wordt voornamelijk gebruikt als katalysator in tal van industriële chemische processen. Een interessant onderwerp in chemisch onderzoek is en blijft het begrijpen waarom platina zulke buitengewone katalytische eigenschappen heeft. Dit inzicht zou de weg kunnen effenen voor de ontwikkeling van alternatieve katalysatoren. Een doelstelling op middellange termijn zou het uitgebreide gebruik van andere metalen uit de platinagroep (palladium, ruthenium, iridium, rhodium, osmium) kunnen zijn,

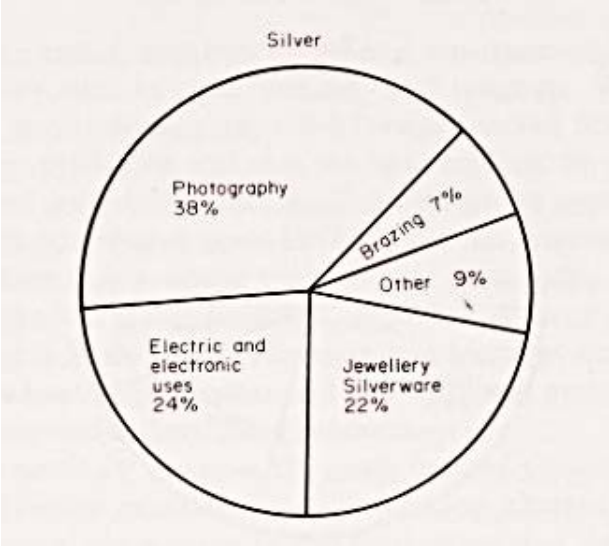



Fig. 40. Procentuele verdeling of zilververbruik (U.S.A., 1978). Munten, medailles en herdenkingsmunten zijn niet meegerekend (ongeveer 6-8 % van de totale vraag, met grote schommelingen).

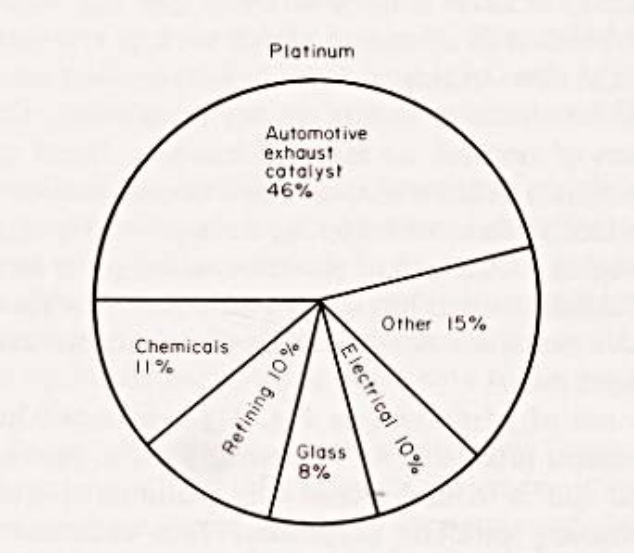



Fig. 41. Procentuele verdeling van het platinaverbruik (U.S.A., 1977).

waarvan de consumptie laag is in vergelijking met hun beschikbaarheid, hoewel ze schaars zijn in absolute termen.

Van de gasvormige elementen is de situatie voor helium, een cruciaal element voor cryogene technologieën, van bijzonder belang. Dit gas wordt momenteel teruggewonnen als bijproduct uit bepaalde aardgasvoorraden met een heliumgehalte van 0,3 % of meer. Deze bronnen zullen naar verwachting binnen enkele decennia uitgeput zijn. Elk jaar gaat een enorme hoeveelheid helium verloren bij de productie van aardgas dat arm is aan helium en waaruit het element niet wordt verwijderd. Er zijn betere en goedkopere methoden voor heliumwinning nodig om dit element te sparen. Op lange termijn zou het alternatief zijn om helium uit de atmosfeer (0,0005 %) terug te winnen, wat een aanzienlijke kostenstijging met zich mee zou brengen.

De belangrijkste technologie die momenteel aan het gebruik van helium gebonden is, is supergeleiding. Alle bekende supergeleiders werken bij zulke lage kritische temperaturen dat het materiaal alleen met vloeibaar helium (kookpunt 4 K) kan worden gekoeld. Er is onderzoek nodig om supergeleidende materialen te vinden met een aanzienlijk hogere kritische temperatuur: stabiele supergeleiding bij 25 K zou koeling met vloeibare waterstof mogelijk maken.

### *3.2.4. Onderzoek naar materiaalvoorziening .*

UITBREIDING VAN GEOLOGISCH ONDERZOEK EN EXPLORATIE

Er moet meer aandacht worden besteed aan de geologische wetenschappen en aan geavanceerde technologieën voor geologisch, geochemisch en geofysisch onderzoek. Geologisch in kaart brengen, op welke manier dan ook, moet worden voortgezet als de primaire basis voor het beoordelen van het minerale potentieel van de lithosfeer en voor een efficiënte ontwikkeling van de grondstoffen Het is van essentieel belang om betrouwbare gegevens over de omvang van de materiaalvoorraden te verzamelen om een passend materiaalbeleid te kunnen formuleren. Studies die gericht zijn op een betere schatting van de reserves en hulpbronnen in functie van de winningskosten van mineralen en de kenmerken van de afzettingen moeten dan ook worden aangemoedigd.

Ruimtevaarttechnologieën voor teledetectie (via de zogenaamde LANDSAT-satellieten) zijn de meest veelbelovende innovaties op het gebied van de exploratie van natuurlijke hulpbronnen. De tot nu toe behaalde resultaten hebben al

geleid tot de identificatie van onbekende geologische kenmerken in onontgonnen gebieden, wat zou kunnen leiden tot de ontdekking van nieuwe grote minerale en fossiele brandstofvelden. In dit geval ligt de vereiste technologische innovatie niet zozeer op het gebied van "hardware" (satellieten, fotoapparatuur, enz.), maar veeleer op het gebied van de interpretatie van de verkregen gegevens. Hoewel de ruwe gegevens die door de satellieten worden verzameld voor iedereen beschikbaar zijn en tot het publieke domein behoren, kan het dure proces van analyse en interpretatie van deze complexe gegevens leiden tot resultaten die onder de noemer “vertrouwelijke informatie” vallen. De voor de hand liggende politieke en economische problemen die hiermee gepaard gaan, worden nog gecompliceerder door de praktische mogelijkheid om op wereldwijde basis naar natuurlijke hulpbronnen te zoeken, waarbij nationale grenzen worden overschreden.

## MIJNBOUW- EN VERWERKINGSTECHNOLOGIEËN

De evolutie van de mijnbouw wordt gekenmerkt door een constante afname van de kwaliteit van winbare mineralen, gepaard gaande met een toename van de omvang van de afzettingen. Zo is in de afgelopen vijftig jaar de gemiddelde kwaliteit van koper (zie Fig. 42), lood en zink met een factor 2 tot 5 afgenomen en die van tin met een factor 100.

De exploitatie van zeer arme mineralen brengt veel ernstige technische problemen met zich mee, die voornamelijk verband houden met energieverbruik en milieubescherming, wat natuurlijk van groot economisch belang is. Het energieverbruik voor mijnbouw kan aanzienlijk stijgen zodra rijke ertsen zijn uitgeput. De milieuschade die gepaard gaat met mijnbouw kan enorm toenemen naarmate de kwaliteit van ertsen afneemt, omdat er veel grotere hoeveelheden materiaal moeten worden verwerkt en er enorme hoeveelheden afval worden geproduceerd. De kosten voor het voorkomen of herstellen van milieuschade en voor bodemherstel zullen in de toekomst uiteraard serieuzer in aanmerking moeten worden genomen. Tenzij het milieu op de juiste wijze wordt gesaneerd, kunnen er ernstige problemen worden verwacht voor veel nieuwe mijnbouwactiviteiten.

Er moet zorgvuldig aandacht worden besteed aan het probleem van het vinden van voldoende arbeidskrachten voor de mijnbouw in de toekomst. Deze overweging moet leiden tot de verdere ontwikkeling van geautomatiseerde mijnbouwmethoden die effectief zijn in het verminderen van de behoefte aan arbeidskrachten om in moeilijke omstandigheden te werken.

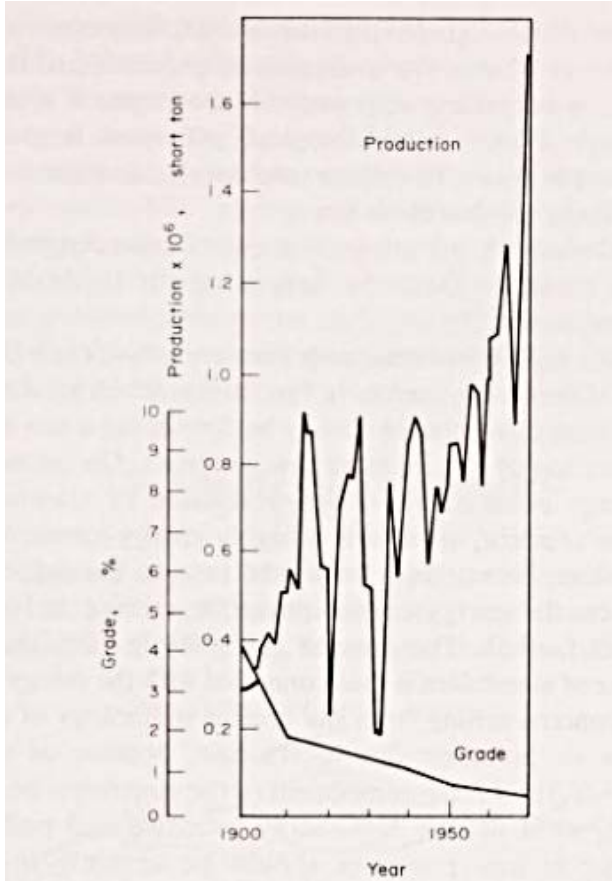



Fig. 42. Gemiddelde kwaliteit van gewonnen kopererts en minerale koperproductie (winbaar gehalte van ertsen) in de Verenigde Staten.

Methoden voor het malen en opwaarderen van erts zullen steeds belangrijker worden met de afname van de kwaliteit van mineralen. De energie die nodig is voor het delven, vervoeren en malen van ertsen vertegenwoordigt een groter percentage van de totale energie die wordt verbruikt bij de verwerking van ertsen met een afnemende kwaliteit. Onderzoek naar de mechanische en fysisch-chemische eigenschappen van mineralen is een belangrijk element voor de ontwikkeling van minerale technologie, aangezien dit kan leiden tot aanzienlijke verbeteringen in de processen voor het malen en scheiden van deeltjes. Er moeten nieuwe technieken worden ontwikkeld voor de behandeling van fijne deeltjes, voor flotatie* met zeer selectieve oppervlakteactieve producten en voor magnetische en elektrostatische droge scheidingsprocessen.

* fysisch-chemisch scheidingsproces dat zwevende deeltjes, oliën en vetten uit water of vloeistofmengsels verwijdert door ze met fijne luchtbellen naar het oppervlak te drijven

De exploitatie van laagwaardige ertsen veroorzaakt een enorm probleem van vervuiling door vast afval. De ondergrondse verwerking van het mineraal t*er plaatse* lijkt een veelbelovende aanpak. Er is meer onderzoek nodig naar hydrometallurgische en microbiologische processen (bijvoorbeeld microbiële oxidatie van sulfide-ertsen tot oplosbare sulfaten), met name wat betreft het gebruik ervan voor het *ter plaatse* uitlogen van mineralen.

IJzer en aluminium zijn van zo'n groot kwantitatief belang dat er aanzienlijke besparingen kunnen worden gerealiseerd door de methoden voor de winning van deze metalen te verbeteren.

Zo zijn de *aluminium*voorraden bijvoorbeeld zeer groot, ook al raakt het belangrijkste erts, bauxiet, steeds schaarser. In de toekomst, wanneer de bauxietreserves bijna uitgeput zijn, moeten we al bezig zijn met de ontwikkeling van een nieuwe technologie voor de winning van klei of andere grondstoffen. Anderzijds geeft de productie van aluminium vanuit energetisch oogpunt aanleiding tot ernstige bezorgdheid, aangezien het een zeer energie-intensief proces is. Als we in perspectief overwegen om over te stappen op de exploitatie van laagwaardige ertsen, zou het energieverbruik voor de winning en verwerking nog verder kunnen stijgen. De grootste moeilijkheid om aluminium op grotere schaal te gebruiken, houdt dus verband met het energieprobleem.

Een ander punt van zorg bij de huidige technologie voor de productie van aluminium is de luchtvervuiling door fluor, als gevolg van het gebruik van cryoliet ($Na_3AlF_6$) als hoofdbestanddeel van het elektrolytbad. Er moet dringend onderzoek worden gedaan naar de ontwikkeling van nieuwe energiezuinige en vervuilingsvrije productieprocessen voor aluminium. Een veelbelovende nieuwe ontwikkeling in deze richting lijkt de elektrolyse van aluminium-chloride te zijn, verkregen door chlorering van aluminiumoxide, waardoor een energiebesparing van 30 % mogelijk zou zijn en de fluorvervuiling volledig zou kunnen worden geëlimineerd door het gebruik van cryoliet als vloeimiddel af te schaffen.

Aluminium is zeker geen op zichzelf staand voorbeeld. Bij de staalproductie vormen de energiekosten voor het reduceren van ijzererts tot ijzer een groot probleem en is er een dringende noodzaak om de afhankelijkheid van harde cokeskolen te beperken. Er kunnen nieuwe directe methoden voor het maken van ijzer worden overwogen, waarbij een heet reducerend gas, zoals methaan of waterstof-gas, wordt gebruikt om ijzererts om te zetten in metaal: aangezien deze processen meer energie vereisen dan hoogovens, zijn ze interessant voor landen die over grote voorraden aardgas of steenkool beschikken.

Het is mogelijk om niet alleen de hoogoven, maar ook de gewone staalproductiefase te omzeilen, waardoor een continue stroom gesmolten staal wordt verkregen. Deze processen kunnen mogelijk worden uitgevoerd bij een gastemperatuur van ongeveer 800 °C, die kan worden bereikt met een gasgekoelde kernreactor voor hoge temperaturen. De twee belangrijkste problemen die zich zouden voordoen bij de bouw van een staalfabriek rond een kernreactor zijn het vinden van een lage-temperatuurroute voor de directe reductie van erts en het vinden van de warmtewisselaars die nodig zijn om de warmte van het koelgas in de reactor over te brengen naar het reductiegas. Bovendien doen zich moeilijkheden voor in verband met de rigiditeit en veiligheid van de koppeling van twee zeer complexe systemen.

## 3.3. De levenscyclus van materialen

Een discussie over natuurlijke hulpbronnen moet verwijzen naar de beschikbaarheid van grondstoffen, evenals naar elke fase van de "levenscyclus" van materialen (zie figuur 43), vanaf de transformatie van de hulpbronnen

The total marerials cycle

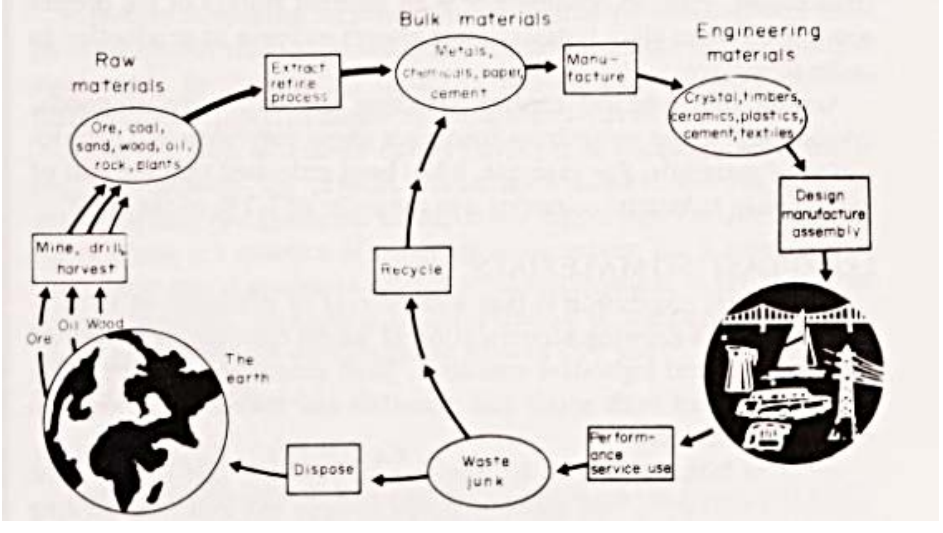



Fig. 43. De levenscyclus van materialen. (Bron: *Materials and Man's Needs,* National Academy of Scienccs, 1974.)

in materialen en de verwerking daarvan tot bruikbare producten, het gebruik van dergelijke goederen en ten slotte hun lot wanneer ze worden weggegooid. Eenmaal weggegooid, kunnen de materialen als afval achterblijven, waardoor een probleem van afvalverwerking ontstaat, of ze kunnen worden teruggewonnen en in verschillende vormen worden gerecycled. De meeste fasen van de levenscyclus vereisen energieverbruik en hebben ook invloed op het milieu.

Een opvallend kenmerk van geïndustrialiseerde samenlevingen is de korte levensduur van producten, wat leidt tot een grote verspilling van materialen. De levensverwachting van sommige categorieën goederen wordt weergegeven in tabel 14. Op industrieel gebied worden goederen voornamelijk gekozen op basis van een technisch-economische evaluatie van hun eigenschappen, waardoor hun duurzaamheid over het algemeen voldoende is voor het beoogde doel. Op het gebied van consumptiegoederen daarentegen wordt de keuze vaak gebaseerd op reclame en mode. Op het gebied van de publieke consumptie vindt men zowel kenmerken van industriële consumptie (zoals bij openbare werken, defensie, enz.) als van particuliere consumptie terug. Dit leidt tot een groot verbruik van nuttige of weinig gebruikte goederen, tot het afdanken van goederen die nog bruikbaar zouden kunnen zijn en tot het produceren van enorme hoeveelheden afval. De industrie is voorstander van de voortdurende productie van verouderde goederen en de daaruit voortvloeiende vervanging ervan. Geplande veroudering is een inherent kenmerk van het huidige economische systeem, aangezien de industrie haar productie voortdurend moet verhogen om te kunnen overleven.

Wat betreft de technische aspecten die van invloed zijn op de duurzaamheid van goederen, leiden onwetendheid over corrosie en materiaalverslechtering tot aanzienlijke verliezen. Zo wordt geschat dat de kosten van corrosie in industrielanden ongeveer 1-3 % van het BNP bedragen.

## DUURZAME MATERIALEN

Onze algemene conclusie is dat een snelle uitputting van grondstoffen en een toenemende ophoping van afvalstoffen alleen kunnen worden voorkomen door economische en wetgevende maatregelen. Dergelijke maatregelen kunnen de levensduur van zowel goederen als materialen verlengen en aantasting van het milieu voorkomen.

De industrie heeft een gebrek aan stimulansen om haar producten duurzamer te maken. Een geschikte oplossing voor dit probleem zou kunnen bestaan uit fiscale maatregelen die gericht zijn op het voorkomen van onnodige of buitensporige vervanging van duurzame goederen.

Om een langere levensduur van voorwerpen te bevorderen, zou een belastinggrondslag die omgekeerd evenredig is aan de duur van de garantie voor een bepaald voorwerp, raadzaam kunnen zijn. Dergelijke maatregelen, vergelijkbaar met die welke zijn ingesteld door regelgeving ter bestrijding van vervuiling, zouden technologische innovatie helpen bevorderen en deze richten op doelstellingen op het gebied van materiaalbehoud. Een andere manier om de levensduur van voorwerpen te verlengen, is het stimuleren van het huren van apparatuur in plaats van deze te verkopen.

De kwaliteit van producten moet ook worden verbeterd om hun levensduur te verlengen. Dit hoeft niet noodzakelijkerwijs tot een aanzienlijke kostenstijging te leiden, aangezien vaak slechts kleine onderdelen van een voorwerp niet meer naar behoren functioneren. We moeten de frequentie en de oorzaken van het afkeuren van producten in kaart brengen, waaronder breuk, defecten, verlies van betrouwbaarheid, veroudering als gevolg van technologische of modieuze veranderingen, en esthetische achteruitgang.

Een bewust beleid om producten met een optimale levensduur te produceren, vereist de toepassing van modulaire ontwerpen waardoor onderdelen kunnen worden vervangen. Ook zijn verbeterde ontwerpprocedures nodig om de scheiding en recycling van verschillende materialen aan het einde van de levensduur van het product te vergemakkelijken. Daarnaast is een nieuwe houding ten aanzien van onderhoud en reparatie vereist.

Maatregelen ter bevordering van recycling en vermindering van het verbruik moeten worden beoordeeld in het licht van de ontwikkelingsgraad van de betrokken landen. In ontwikkelingslanden moeten maatregelen worden genomen om te voorkomen dat hun ontwikkeling naar een hogere materiële levensstandaard wordt vertraagd.

Net als bij energiebesparing moet rekening worden gehouden met het verband tussen de huidige industriële structuur, de levenscyclus van materialen en het spectrum van gebruikte materialen. Het verlengen van de levensduur van goederen is een maatregel om materialen te besparen, maar kan op korte termijn sociale problemen veroorzaken in verband met werkloosheid in de betrokken industriële sectoren. Structurele veranderingen in de industrie moeten gepaard gaan met een gelijktijdige groei van “zachte”, materiaalarmere activiteiten.

## ENERGIE EN MATERIALEN

De materiaalkringloop is een mondiaal systeem met sterke wisselwerkingen tussen hulpbronnen, milieu en energie. In elke fase worden energiekosten gemaakt. Naarmate we verder komen in de materiaalkringloop, zien we

Tabel 16
ENERGIEBEHOEFTE VOOR BASISPRODUCTEN

| | | Olie-equivalent in gewicht in ton olie-equivalent per ton product * | | | Energiebehoefte | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Product | Density ($g/cm^3$) | Oil equivalent for feedstock | Oil equivalent for conversion | Total oil equivalent | by weight $\left(\frac{kcal}{g}\right)$ | by volume $\left(\frac{kcal}{cm^3}\right)$ |
| Aluminium | 2.7 | — | 5.6 | 5.6 | 58.5 | 158 |
| Steel billet | 7.8 | — | 1.0 | 1.0 | 10.5 | 82 |
| Tinplate | 7.8 | — | 1.25 | 1.25 | 13.1 | 102 |
| Copper billet | 8.9 | — | 1.2 | 1.2 | 12.5 | 112 |
| Glass bottles | 2.4 | — | 0.45 | 0.45 | 4.7 | 11 |
| Paper and board | 0.8 | — | 1.4 | 1.4 | 14.6 | 12 |
| Cellulose film | 1.45 | — | 4.4 | 4.4 | 46.0 | 67 |
| Polystyrene | 1.07 | 1.3 | 1.88 | 3.18 | 33.2 | 36 |
| Polyvinyl chloride | 1.38 | 0.55 | 1.4 | 1.95 | 20.4 | 28 |
| Low-density polyethylene | 0.92 | 1.11 | 1.13 | 2.24 | 23.4 | 22 |
| High-density polyethylene | 0.96 | 1.13 | 1.2 | 2.33 | 24.4 | 23 |
| Polypropylene homopolymer | 0.90 | 1.17 | 1.38 | 2.55 | 26.7 | 24 |

* Conversie factor: 10,450 kcal/kg oil.
De gegevens verwijzen naar de condities in U.K.

de energie die nodig is om metalen uit ertsen te winnen; om plastic te maken van ruwe olie; om metalen, keramiek en plastic te bewerken en te vormen; om componenten en systemen te assembleren; om goederen in alle productiestadia te transporteren en om het eindproduct in handen van de consument te gebruiken. Vervolgens zien we de energie die verloren gaat doordat metalen corroderen of roesten, doordat plastic afbreekt, doordat het product wordt weggegooid en doordat het afval op de stortplaats terugkeert naar de energiezuinige "natuurlijke" staat.

Tabel 16 toont de energiebehoefte voor de productie van enkele basismaterialen. De invloed van de energiekosten op de prijs bedraagt ongeveer 5-10% voor de meeste non-ferrometalen (koper, nikkel, zink, lood), loopt op tot 15% voor staal en 35% voor aluminium, het meest energie-intensieve materiaal. Om de complexiteit van het opstellen van een gedetailleerder energieprofiel te illustreren, toont tabel 17 de energiebehoefte van een typische koperfabriek, waarbij de energie-intensiteit van elke productiestap wordt onderscheiden. Het blijkt dat van alle processen de concentratie en het smelten de grootste energieverbruikers zijn. Ongeveer 60% van alle benodigde energie

TABEL 17
ENERGIEBEHOEFTE VOOR DE PRODUCTIE VAN KOPER

| | kcal/g | % |
|---|---|---|
| Mining | 2.4 | 11.9 |
| Concentrating | 6.0 | 29.7 |
| Dump leach | 3.8 | 18.8 |
| Smelting | 6.0 | 29.7 |
| Refining | 2.0 | 9.9 |
| Total | 20.2* | 100.0 |

De gegevens hebben betrekking op een typische grote, geïntegreerde koperfabriek in de VS. Er wordt vanuit gegaan dat 80% van het koper afkomstig is van dagbouw en concentratie, en 20% van het uitlogen van mijnafvalhopen, gevolgd door concentratie met ont-tind schrootstaal (staal zonder de tin-coating).

* De hogere waarde ten opzichte van de overeenkomstige waarde in tabel 18 moet worden toegeschreven aan het afwijkende productieproces..

Bron: *Energy Use and Conservation in the Metals Industry,* p. 124, AIME Annual Meeting, Feb. 1975.

TABEL 18. ENERGIEBESPARING DIE KAN WORDEN BEREIKT BIJ HET TERUGWINNEN VAN ENKELE BASISMETALEN.

| | Virgin material requirement (kWh/ton) | Recycled materials requirement (kWh/ton) | Savings for each ton of recycled material (kWh) | Oil saved for each ton of recycled material (bbl) |
|---|---|---|---|---|
| Aluminium | 51,379* | 2000 | 49,379 | 29.1 |
| Copper | 13,532* | 1727 | 11,805 | 7.0 |
| Iron | 4270 | 1666 | 2604 | 1.5 |
| Magnesium | 90,821 | 1875 | 88,946 | 52.2 |
| Titanium | 126,115 | 52,416 | 73,699 | 43.3 |

Gegevensbron: U.S. National Association of Recycling Industries, *Metal Bulletin*, 7 januari 1975, p. 20.

*Opmerking*: equivalent aan: 44,2 kcal/g voor aluminium.
en aan: 11,6 kcal/g voor koper.

* The small differences with respect to the corresponding values reported in Table 17 can be attributed to different manufacturing processes.

wordt vóór het smelten gemaakt. Deze vereisten zijn omgekeerd evenredig aan de ertskwaliteit.

Uit tabel 16 blijkt dat de energie-intensiteit van glas veel lager is dan die van bijvoorbeeld aluminium. Dit suggereert dat er veel onderzoek nodig is om het scala aan eigenschappen van glas en keramiek uit te breiden, zodat deze materialen veel metaalproducten zouden kunnen vervangen.

De productie van goederen vereist meer energie wanneer natuurlijke grondstoffen in plaats van gerecyclede materialen worden gebruikt. De energiebesparing bij de terugwinning van "lichte metalen" is aanzienlijk in vergelijking met de besparingen die mogelijk zijn voor koper en ijzer, zoals blijkt uit tabel 18. Magnesium- en aluminiumschroot kunnen bijvoorbeeld worden gerecycled, waardoor respectievelijk 50 en 25 keer de energie wordt bespaard die nodig is om het nieuwe materiaal te produceren.

Recycling moet daarom als van primair belang worden beschouwd, niet alleen voor het behoud van materialen en het milieu, maar ook voor het besparen van energie.

Tot slot pleiten wij ervoor dat aanzienlijke prioriteit wordt gegeven aan het nieuwe onderzoek, genaamd energieanalyse, dat is de berekening van de

energy inhoud van een breed scala aan materialen en eindproducten, zodat energie-intensieve materialen kunnen worden vervangen door minder energie-intensieve materialen naarmate de aanbod- en economische omstandigheden veranderen.

## 3.4. Materialen technologie

### 3. 4. 1. Materiaalomzetting en de benodigde grondstoffen

De aard en de hoeveelheid materialen die de industrie daadwerkelijk nodig heeft, hangen niet alleen af van de vraag naar goederen en diensten, maar evenzeer van de kenmerken van de technologieën die worden gebruikt om grondstoffen in producten om te zetten.

Het maken van producten, zowel in de industrie als in de bouw, omvat een reeks onderling samenhangende materiaalprocessen. De stapsgewijze omzetting van ijzererts naar eindproducten van staal wordt weergegeven in tabel 20. De reeks begint met de winning van erts, kalksteen en grondstoffen, en gaat verder met ijzerproductie, staalproductie, walsen van staal-blokken en koude-bewerking tot de uiteindelijke bewerking of vorming van componenten en de assemblage daarvan tot eindproducten.

Hoewel de stroom van materialen en tussenproducten complexer is dan dit, kan de gehele productie worden beschouwd als een reeks onderling verbonden sequenties die een scala aan industriële materialen vertegenwoordigen. Aluminium (zie tabel 19) dient als voorbeeld. In de aluminiumsequentie worden de hulpbronnen die in elk van de opeenvolgende verwerkingsstadia worden verbruikt, gedetailleerd weergegeven, waarbij de complexiteit van energie, materialen, transport, arbeidskrachten en kapitaalinput in elke fase wordt aangegeven.

Het is duidelijk dat de aard en de “grondstofproductiviteit” van deze sequenties, en het kwantitatieve evenwicht daartussen, bepalend zijn voor de structuur en de geografische spreiding van industriële activiteiten en voor de aard, de hoeveelheid en de geografische herkomst van de grondstoffen die nodig zijn voor de vervaardiging van objecten. De aard van de door de industrie gebruikte materialen is niet alleen van belang voor het bepalen van de vraag naar de natuurlijke hulpbronnen waaruit ze worden gewonnen.

Indirect bepalen zij, en de processen die bij hun omzetting worden gebruikt, ook de vraag naar andere hulpbronnen. Zo wordt bijvoorbeeld meer dan 40 % van

Tabel 19

BELANGRIJKSTE PROCESSEN, TUSSENPRODUCTEN EN INPUTS BIJ DE ALUMINIUMPRODUCTIE

| Proces | Product Prijs | Wereld productie Ton (miljoenen) | Waarde $ (miljoenen) | Toename van waarde (miljoenen) | Typische input per ton output, in dollars, 1963 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mining | Bauxite ($ 8/ton) | 30 | 240 | 240 | Mining, including exploration, etc. | 1.0-3.0 |
| | | | | | Beneficiation | Nil.-1.0 |
| | | | | | Drying | 0.8-1.5 |
| | | | | | Shipping | 3.0-4.5 |
| | | | | | Local taxes, mining and shipping company profits | Balance |
| | | | | | Total | 8.0 |
| Ore refining | Alumina ($ 75/ton) | 12 | 900 | 660 | Bauxite | 16.8 |
| | | | | | Caustic soda | 5.1 |
| | | | | | Steam | 3.3 |
| | | | | | Electric power | 1.0 |
| | | | | | Fuel for calcination | 2.6 |
| | | | | | Labour, operating, maintenance & indirect | 12.5 |
| | | | | | Maintenance, materials & equipment | 3.0 |
| | | | | | Capital cost: | |
| | | | | | Depreciation on fixed capital | 11.8 |
| | | | | | Interest on fixed capital | 10.3 |
| | | | | | Miscellaneous supplies and general expenses | 7.0 |
| | | | | | Total | 72.5 |

Tabel 19
BELANGRIJKSTE PROCESSEN, TUSSENPRODUCTEN EN INPUTS BIJ DE ALUMINIUMPRODUCTIE

| Proces | Product Prijs | Wereld productie Ton (miljoenen) | Value $ (miljoenen) | Increase in value (millions) | Typische input per ton output, in dollars, 1963 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Aluminium smelting and refining | Primary aluminium ingot ($450/ton) | 6 | 2700 | 1800 | Alumina | 150 |
| | | | | | Fluorides | 25 |
| | | | | | Carbon | 25 |
| | | | | | Operating and maintenance supplies | 18 |
| | | | | | Power | 61 |
| | | | | | Labour | 42 |
| | | | | | Miscellaneous and general expenses | 38 |
| | | | | | Capital charges: | |
| | | | | | Depreciation | 53 |
| | | | | | Interest of fixed capital | 38 |
| | | | | | Total | 450 |
| Fabricating and casting | Wrought semis and castings ($1000/ton) | 6 | 6000 | 3300 | U.K. 1967 | In percentages |
| | | | | | Wages | 38-54 |
| | | | | | Salaries | 6-16 |
| | | | | | Fuel, power and other operating supplies | 15-21 |
| | | | | | Depreciation | 4-14 |
| | | | | | Provision of services and lighting | 3-5 |
| | | | | | Materials for maintenance | 2-3 |
| | | | | | Rates and insurance | 2-3 |
| | | | | | Others | 3-5 |
| | | | | | | 100% |

Source: Pick, 1972.
*Note*: The data refer to the U.S. in 1963. The present-day situation is undoubtedly different on account of technological progress, changes in relative prices and other effects. The table nonetheless remains indicative of the complex and interconnected materials and energy flows of industrial processes.

TABEL 20

VOLGORDE VAN PROCESSEN EN TUSSENPRODUCTEN BETROKKEN BIJ DE FABRICAGE VAN STALEN TECHNISCHE COMPONENTEN

Source: Pick (1972).

het aandelen-kapitaal geïnvesteerd in fabrieken, machines en gebouwen in de Amerikaanse verwerkende industrie bevinden zich in de materiaalproducerende industrieën. Er zijn extra middelen nodig voor transportsystemen en voor de brandstof die ze verbruiken, aangezien een groot deel van de ertsen tegenwoordig bijvoorbeeld over de hele wereld wordt verscheept. Ook de productie van materialen is verantwoordelijk voor een groot deel van het energieverbruik. De primaire metaalindustrieën zijn veruit de grootste industriële groep van energieverbruikers. Andere materiaalindustrieën, zoals klei en glas, papier en cement, staan ook hoog op de lijst. In de Verenigde Staten verbruikt zelfs de enorme transportindustrie minder directe energie dan alle bovengenoemde materiaalindustrieën.

Vanuit het oogpunt van grondstofverbruik is het ook belangrijk dat er in veel verwerkingsfasen van traditionele productieprocessen grote hoeveelheden afval worden gegenereerd. Zo is er bijvoorbeeld ongeveer 1,5 ton ruwstalen ingots nodig om 1 ton koudgewalste bandstaal, blanke staven of buizen te produceren; tot 2 ton staal om 1 ton smeedstukken te produceren; en kan de machinebouwindustrie de helft of meer van het door haar aangekochte metaal omzetten in schroot tijdens processen zoals verspaning en perswerk.

In veel gevallen wordt niet alleen direct, maar ook indirect materiaal verspild, zoals bij zandgieten, waarbij voor elke gietvorm een mal moet worden vernietigd die meer kan kosten dan het gesmolten metaal.

Het is duidelijk dat een groot deel van de industriële hulpbronnen wordt verbruikt voor het produceren van afval. Directe materialen en mogelijk schaarse hulpbronnen kunnen op een onproductieve manier worden verbruikt bij de omzetting van grondstoffen in eindproducten door inherent verspillende technologie. Deze verspilling, die in veel van onze traditionele productietechnologieën voorkomt, legt duidelijk fundamentele fysieke beperkingen op aan de productiviteit die theoretisch zowel op nationaal als op industrieel niveau haalbaar is. Elke technologische verbetering vanuit dit oogpunt zou kunnen leiden tot een aanzienlijke besparing op het gebruik van hulpbronnen.

### *3.4.2. Het belang van ontwerp en materiaalkeuze*

Vanuit het oogpunt van de koper en gebruiker van objecten is de keuze van materialen of productiemethoden vaak niet van fundamenteel belang. De keuze wordt bepaald door factoren als lokale beschikbaarheid, kostenverschillen of zelfs traditie. Huizen

van gelijke bruikbaarheid kunnen worden gebouwd van hout of baksteen; bruggen van staal en/of beton; carrosserieën van staal, glasvezel, aluminium of kunststof, of een combinatie daarvan. Ontwerpbeslissingen in een land en gedurende een bepaalde periode kunnen dus het technologische patroon fundamenteel veranderen. In de twintigste eeuw heeft zich een ongekende ontwikkeling voorgedaan in het aanbod van materialen en processen die beschikbaar zijn voor het ontwerpen van objecten. Dit wordt geïllustreerd door het feit dat kunststoffen, die aan het begin van de eeuw nog curiositeiten waren, nu in hoeveelheden worden gebruikt die al vele jaren die van alle non-ferrometalen samen overtreffen en die beginnen te concurreren met staal.

De veranderingen die plaatsvinden zijn natuurlijk niet alleen kwantitatief. Ze gaan gepaard met radicale veranderingen in de technologie, in het aanbod en de aard van de materialen en processen die de ingenieur ter beschikking staan. Daardoor kunnen verbeterde of efficiëntere machines en constructies worden ontworpen en gebouwd. Even belangrijk is dat er voortdurend nieuwe en verbeterde productieprocessen beschikbaar komen voor het vervaardigen, vormen, verbinden en afwerken van nieuwe en traditionele materialen.

Tabel 21 illustreert de naoorlogse periode van economische expansie die gepaard ging met een grote groei in het economische belang van bepaalde materialen in de Verenigde Staten. De kapitaalvoorraad en de grondstofbehoeften van de Verenigde Staten in 1970 zouden heel anders zijn geweest als de industriële expansie tussen 1950 en 1970 had plaatsgevonden op basis van een uniforme uitbreiding van het materiaalspectrum van 1950. Het energieverbruik zou bijvoorbeeld anders zijn geweest; tabel 16 laat zien dat verschillende materialen verschillende hoeveelheden energie vereisen voor hun bereiding. De implicaties voor de toekomstplanning in een periode van veranderende beperkingen op het gebied van grondstoffen zijn duidelijk.

Ontwerp is niet alleen belangrijk vanuit het oogpunt van materiaal-keuze. De interactie tussen ontwerp en materiaaleigenschappen bepaalt ook de hoeveelheid benodigde materialen. Een verbetering van 10% in sterkte, stijfheid of duurzaamheid kan leiden tot een overeenkomstige vermindering in volume, net als een gelijkwaardige verbetering in ontwerp- en productievaardigheden en vindingrijkheid. De effectieve toepassing van deze vaardigheden is afhankelijk van een breed scala aan factoren, van ingenieursopleidingen en praktijkrichtlijnen tot materiaalonderzoek en -ontwikkeling en materiaalnormen en -specificaties..

TABEL 21
PRODUCTIE EN GROEI VAN GESELECTEERDE MATERIALEN IN DE VERENIGDE STATEN OP BASIS VAN GEMIDDELDEN VOOR 1948-52 AND 1966-70

| | 1950 | 1970 | |
|---|---|---|---|
| | millions of short tons | | Growth factor |
| Steel, net domestic shipments | 71 | 100 | 1.4 |
| Aluminium, apparent consumption, primary and secondary | 1.3 | 4.2 | 3.2 |
| Copper, apparent consumption, primary and secondary | 1.39 | 2.04 | 1.5 |
| Lead, consumption | 1.17 | 1.33 | 1.1 |
| Cement, shipments | 45.5 | 76.5 | 1.7 |
| Stone, shipments | 273 | 831 | 3.0 |
| Sand and gravel, shipments | 390 | 927 | 2.4 |
| Glass, sheet and float, billion sq. feet | n.a. | 1.45 | |
| Plastics, consumption | 1.12 | 8.16 | 7.3 |
| Lumber, consumption | 38.2 | 40.3 | 1.1 |
| Paper and board, apparent consumption | 29.0 | 55.5 | 1.9 |
| Coal, consumption | 478 | 569 | 1.2 |
| Oil, crude, consumption | 365 | 598 | 1.6 |
| Natural gas, marketed, billion MCF | 7.3 | 19.5 | 2.7 |
| Population, million | 150 | 200 | 1.3 |

Bron: *Final Report* of the *(U.S.) National Commission on Materials Policy* (1973).

De interactie tussen materialen en ontwerp heeft ook een belangrijk effect op de prestaties van goederen en diensten. Het benzineverbruik van personenauto's is hiervan een voorbeeld. De huidige constructiemethoden leiden tot auto's met een buitensporig eigengewicht in vergelijking met het gemiddelde gewicht van passagiers. Als reactie op brandstoftekorten kan de vraag naar de ontwikkeling van een ultralicht transportsysteem worden verwacht. Evenzo zou een stijging van het aantal ongevallen of reparatie- en verzekeringskosten kunnen leiden tot een vraag naar rubber of schuimplastic ter vervanging van de huidige modieuze vraag naar gepolijst lakwerk.

Dit zijn voorbeelden waarbij technische oplossingen nodig zijn om aan veranderende omstandigheden te voldoen. Er kunnen kansen ontstaan door veranderingen in materialen en hun toepassing, die tot nieuwe oplossingen kunnen leiden.

Tabel 22, EEN INDELING VAN MOGELIJKE VERANDERINGEN IN MATERIAALTECHNOLOGIE

1. Verbeteringen in ontwerpeigenschappen waardoor
   (a) minder materiaal hoeft te worden gebruikt
   (b) betere prestaties van producten kunnen worden bereikt
2. Verbeteringen in productie-eigenschappen waardoor
   (a) traditionele processen economischer kunnen worden uitgevoerd
   (b) nieuwe processen kunnen worden ontwikkeld en/of economisch kunnen worden toegepast
3. Veranderingen in prijs en beschikbaarheid van bestaande materialen
   (a) ten opzichte van elkaar
   (b) ten opzichte van andere productiefactoren
4. Ontwikkeling van nieuwe materialen die voldoen aan
   (a) ontwerpvereisten
   (b) productievereisten
5. Verbeteringen in de technologie of economie van bestaande processen en machines voor het vormen, verbinden en afwerken van materialen
6. Ontwikkeling van nieuwe processen en machines voor het vormen, verbinden en afwerken van materialen
7. Veranderingen in de economische aspecten of technologie van de materiaalproductie als gevolg van
   (a) nieuwe processen die voortvloeien uit veranderingen in de prijs of beschikbaarheid van:
   (i) grondstoffen
   (ii) brandstof en energie
   (b) veranderingen in de vraag en/of schaal van de productie
8. De ontwikkeling van radicaal nieuwe combinaties van materialen/processen voor de omzetting van grondstoffen in brandstofproducten

### *3.4.3. Implicaties voor beleid en actie*

Het is duidelijk dat materialen en de bijbehorende technologieën een sleutelrol spelen op elk niveau van de economische activiteit, van de werkvloer tot de internationale handel en het verbruik van grondstoffen. Het niveau van investeringen in de gangbare materiaaltechnologie vormt daarom een basis, met specifieke beperkingen en kansen, voor onze productiesystemen en voor onze industrie en economische structuur. Veranderingen in de materiaal-technologie (zie tabel 22) zullen daarom de beperkingen en kansen en de voor de productie benodigde hulpbronnen veranderen. De materiaaltechnologie moet worden ontwikkeld in anticipatie op mogelijke toekomstige beperkingen van grondstoffen of op sociale en politieke behoeften of druk.

Aangezien behoeften, mogelijkheden en middelen sterk verschillen in verschillende delen van de wereld, en omdat ook de huidige of potentieel bruikbare materialen en processen variëren, kan het belangrijk zijn om niet één enkel spectrum van materiaaltechnologieën te ontwikkelen naar het voorbeeld van de industriële westerse wereld, maar een reeks spectra die zijn aangepast aan verschillende regionale situaties.

De bestaande ruime keuze suggereert dat er een nieuw scala aan materialen, processen en machines kan worden gevonden dat beter aansluit bij de mondiale hulpbronnen.

Ons huidige aanbod van conversiesequenties en onze huidige industriële structuren zijn echter waarschijnlijk grotendeels geëvolueerd als gevolg van kansen, technologieën, beperkingen en stimuli die de afgelopen honderd jaar hebben bestaan.

De bestaande structuur van de industrie, met haar onderverdeling die zich concentreert op bepaalde aspecten van de productietechnologie, is grotendeels het resultaat van patronen van materiaalconversie. De industrie wordt gemotiveerd door winsten die voortvloeien uit bestaande industriële patronen, in plaats van uit potentiële patronen die wellicht efficiënter zouden zijn. Men kan zich afvragen of kennis en industrieën die wenselijk zijn voor de toekomst zich in voldoende tempo zullen ontwikkelen op basis van alleen marktkrachten.

Er is een grondig onderzoek naar mogelijke materiaaltechnologieën nodig. Dit zou uitwijzen of een natuurlijke evolutie vanuit het huidige industriële patroon noodzakelijkerwijs de beste weg naar de toekomst is, zowel in de geïndustrialiseerde als in de ontwikkelingslanden.

## 3.5. Conclusies en aanbevelingen over materialen

1. Samen met energie vormen materialen de fysieke basis voor vrijwel alle producten van de samenleving. Ze zijn de bronnen van machines, gebouwen, transport- en communicatiesystemen, praktisch alle goederen die door de mens worden gebruikt. Tekorten of onderbrekingen in de aanvoer zouden nadelige gevolgen hebben voor de industrie, de handel, de financiële sector en het leven van de betrokkenen. Dergelijke gevolgen zouden vergelijkbaar zijn met die van de oliecrisis. Op de lange termijn zou elke beperking van de materiaaltoevoer drastische gevolgen hebben voor het leven van de mens.
2. De geïdentificeerde voorraden van de meeste grondstoffen, die onder de huidige economische en technologische omstandigheden kunnen worden gewonnen, zijn alleen voldoende voor

de korte termiijn, en de beschikbare voorraden van sommige mineralen, zoals wolfraam, kobalt, platina en zilver, zijn bijzonder kritiek. Er zijn geologische mogelijkheden voor het vinden van extra afzettingen, maar voor veel mineralen zijn de bekende potentiële voorraden niet groot. Met haar reeds enorme vraag naar grondstoffen moet de samenleving zichzelf als kwetsbaar beschouwen wat betreft de toekomstige voorziening van mineralen.

3. Op korte termijn kunnen bevoorradingsproblemen het best worden opgelost door het ontwikkelen van een mineralenbeleid (inclusief belastingheffing) dat exploratie, kapitaalinvesteringen, toepassing van conserveringsmaatregelen, opslag en wederzijds voordelige handelsovereenkomsten tussen producenten en consumenten stimuleert.

4. Op langere termijn moeten wetenschappelijk onderzoek en technologische ontwikkeling gericht zijn op alle methoden waarmee de voorraad aan materialen kan worden ontwikkeld en uitgebreid. Deze omvatten: exploratie naar nieuwe bronnen; technologische vooruitgang om winning en terugwinning van materialen tegen redelijke kosten mogelijk te maken; recycling van gebruikte producten; vervanging van schaarse materialen door materialen die in overvloed aanwezig zijn; eliminatie van afval bij winning, verwerking en productie; verhoging * van de sociale en technologische efficiëntie van het gebruik; behoud van gebruik. Vooruitgang in deze processen vereist intensief onderzoek naar de oorsprong en locatie van minerale afzettingen, kennis van de regionale en ondergrondse geologie, inclusief de zeebodem, verbetering van de ontwikkeling van exploratie-instrumenten en -methoden, en verbeterde middelen voor de winning en verwerking van mineralen. Materiaalwetenschap, productontwerp, productietechnologie en de sociale en economische problemen in verband met efficiënter gebruik en duurzaamheid zijn andere belangrijke onderwerpen. Er moet ook aandacht worden besteed aan de analyse van de milieugevolgen van de productie en het gebruik van materialen aan de herstelmaatregelen die nodig zijn om ongewenste effecten te voorkomen.

5. Overheden en intergouvernementele instanties moeten de potentiële hulpbronnen beoordelen en mogelijke onevenwichtigheden in hulpbronnen en milieutrends onderzoeken, om de chaotische gevolgen van materiaalschaarste en negatieve milieueffecten te voorzien en te voorkomen.

6. De onderverdeling van de industrie in bedrijven die zich concentreren op specifieke aspecten van de productietechnologie is voornamelijk het gevolg van patronen in materiaalverwerking. Omdat er enorm veel geïnvesteerd wordt in bestaande technologie, zijn industrie en handel nu niet voldoende flexibel

*Sociale efficientie betreft menselijke en organisatorische kant om minder te verspillen door: gedrag aanpassen , zuinige woningbouw.
Technologische efficientie bijv. isolatie, zuinige auto

om plotselinge veranderingen zonder verstoring op te vangen. De ontwikkeling van de industrie in anticipatie op toekomstige beperkingen van grondstoffen kan daarom alleen plaatsvinden als deze wordt gestuurd door een verstandig langetermijnbeleid, ondersteund door de nodige investeringen en onderzoek en ontwikkeling. Overheden zullen zich dringend moeten buigen over de vraag hoe dergelijk beleid kan worden ontwikkeld en geïmplementeerd.

7. Hoewel overheden en industrieën veel hebben gedaan om de efficiëntie van de aanvoer en verwerking van materialen te verbeteren, vereist het huidige hoge verbruik nieuwe onderzoeks- en ontwikkelingsinitiatieven. Omdat het lang duurt voordat er significante resultaten uit onderzoek en ontwikkeling worden behaald, is het dringend noodzakelijk dat de inspanningen op dit gebied nu worden versneld.

8. Het is niet mogelijk om onzekerheid over de toekomst van de mensheid volledig weg te nemen. Ten eerste zou het mogelijk moeten zijn om meer minerale grondstoffen te vinden dan nu bekend zijn, mits onderzoek en ontwikkeling krachtig en creatief worden voortgezet en ten tweede mits er voldoende energievoorziening kan worden gehandhaafd. De tweede factor is van groot belang; de noodzaak om verschillende methoden voor energiebesparing toe te passen is voor grondstoffen niet minder urgent dan voor energie. Er is bijzondere reden tot bezorgdheid over de voortdurende exponentiële groei van het materiaalverbruik in ontwikkelde landen. De nadruk moet worden gelegd op de verschillende manieren om de groei te verminderen door verbeterde sociale en technologische efficiëntie.

# *4. Voedsel*

## 4.1 Inleidende opmerkingen

Voedsel- en voedingsproblemen zijn nog kritieker dan die op het gebied van energie en grondstoffen. Volgens schattingen uit 1974* lijden ongeveer een half miljard mensen aan ondervoeding en dat aantal is sindsdien ongetwijfeld nog gestegen. Het voedseltekort is niet alleen zorgwekkend vanwege de directe gevolgen voor de mens, maar ook vanwege de lichte stijging van de productie *per hoofd van de bevolking*, de recente dramatische stijging van de prijzen van belangrijke landbouwgrondstoffen en basisvoedingsmiddelen, de exponentiële groei van de wereldbevolking en de moeilijkheden om de ongelijke verdeling van voedsel en de koopkracht voor voedsel te overwinnen.

Voedseltekorten komen vooral voor in bepaalde ontwikkelingsregio's. Mensen die in tropische gebieden wonen, vormen de meest noodlijdende groep. Zoals blijkt uit tabel 23, woont ongeveer twee derde van de ondervoede mensen in het Verre Oosten. In ontwikkelde landen zijn de tekorten veel minder ernstig: daar leven slechts ongeveer 30 miljoen ondervoede mensen, oftewel 3 % van de bevolking, onder het bestaansminimum. Het precieze aantal mensen dat honger lijdt en ondervoed is, kan hoger liggen, afhankelijk van de gehanteerde criteria. Als het criterium een optimale in plaats van een minimale voeding zou zijn, zou het geschatte aantal ondervoede mensen uiteraard groter zijn.

De meeste ondervoede mensen wonen op het platteland als kleine boeren, pachters of plattelandsbewoners zonder land of werk. Velen bevinden zich buiten of hebben slechts een zwakke band met de monetaire economie, waardoor conventionele economische prikkels niet effectief zijn. De andere grote groep die aan ondervoeding lijdt, bestaat uit de straatarme bevolking die in de sloppenwijken van grote steden en dorpen leeft, waar de voedingskwaliteit soms lager is dan

* Source: F.A.0., *The Fourth World Food Survey*, 1977.

TABEL 23
GESCHAT AANTAL MENSEN MET ONVOLDOENDE EIWIT-/ ENERGIE-INNAME PER REGIO (1974)

| Region | Total population | | Percentage below 1.2 BMR[1] | | Total number below 1.2 BMR[1] | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1969-71 | 1972-74 | 1969-71 | 1972-74 | 1969-71 | 1972-74 |
| | millions | | | | millions | |
| Africa | 278 | 301 | 25 | 28 | 70 | 83 |
| Far East | 968 | 1.042 | 25 | 29 | 256 | 297 |
| Latin America | 279 | 302 | 16 | 15 | 44 | 46 |
| Near East | 167 | 182 | 18 | 16 | 31 | 20 |
| Developing Countries | 1.692 | 1.827 | 24 | 25 | 401 | 455 |

[1] Basaalmetabolisme.
Bron: F.A.O., *The Fourth World Food Survey,* 1977.

die van de arme plattelandsbevolking. Er moet met name worden opgemerkt dat voedseltekorten vaak voorkomen bij de meest kwetsbare personen: zuigelingen, kinderen en zwangere vrouwen, met zowel psychologische als fysieke gevolgen die gedurende het hele leven van de persoon voelbaar zullen blijven. Naar schatting is ten minste 40 % van de ondervoede personen een kind.

VOEDSELVRAAG

Hoewel het voedselprobleem de laatste tijd veel aandacht heeft gekregen, zijn er weinig aanwijzingen voor een substantiële verbetering. Er moet een fundamenteel onderscheid worden gemaakt tussen de commerciële vraag naar voedsel en de voedingsbehoefte. De commerciële vraag is altijd gelijk aan het aanbod via het marktmechanisme. Veel ondervoede mensen vallen echter volledig buiten het monetaire en marktsysteem en kunnen zich niet genoeg voedsel veroorloven om in hun voedingsbehoeften te voorzien, zelfs als dat tegen aanzienlijk lagere productiekosten zou worden aangeboden. Deze mensen blijven onvoldoende voeding krijgen, ondanks het feit dat aan de commerciële vraag is voldaan.

De veranderende trends in de gemiddelde wereldwijde voedselconsumptie per persoon per dag gedurende de afgelopen twee decennia worden weergegeven in tabel 24. Er is een duidelijke trend waarneembaar van een zeer geleidelijke toename van de voedselconsumptie in de afgelopen decennia. De voedselproductie *per hoofd van de bevolking* in

TABEL 24, GEMIDDELD VERBRUIK PER PERSOON PER DAG
TUSSEN 1961 EN 1977 - WERELDWIJD

| Year | Calories (number) | Proteins (grams) | Fat (grams) |
|---|---|---|---|
| 1961-63 | 2.412 | 65.3 | 56.5 |
| 1964 | 2.450 | 66.1 | 57.3 |
| 1965 | 2.483 | 66.8 | 57.9 |
| 1966 | 2.438 | 65.9 | 57.9 |
| 1967 | 2.442 | 66.1 | 58.5 |
| 1968 | 2.487 | 67.4 | 59.4 |
| 1969 | 2.495 | 67.2 | 59.5 |
| 1970 | 2.545 | 68.6 | 60.6 |
| 1971 | 2.559 | 68.7 | 61.1 |
| 1972 | 2.533 | 68.2 | 60.9 |
| 1973 | 2.537 | 67.9 | 60.8 |
| 1974 | 2.563 | 68.7 | 61.3 |
| 1975-77 | 2.590 | 69.3 | 62.7 |

Bron ; F.A.O., Provisional food balance sheets, 1972-1974 average (years 1971-1974), *Production Yearbook*, 1918.

in ontwikkelingslanden is sinds 1964 slechts met 50 % gestegen, ondanks de “Groene Revolutie” en andere productieve vooruitgang (zie tabel 25). Het verschil in voedselkwaliteit tussen ontwikkelingslanden en ontwikkelde landen wordt bijvoorbeeld geïllustreerd door het gehalte aan dierlijke en plantaardige eiwitten in voedsel in de verschillende regio's van de wereld (tabel 26). Wereldwijd wordt meer dan 46 % van alle eiwitten geproduceerd in de vorm van graan en is ongeveer twee derde van de eiwitten afkomstig van plantaardige bronnen (tabel 27).

Een prognose van de commerciële vraag naar voedsel wordt weergegeven in tabel 28, in vergelijking met een extrapolatie van recente productietrends. Er is te zien dat de vraag in ontwikkelingslanden veel sneller stijgt dan in ontwikkelde landen: van 3,0 tot 4,0 % per jaar tegenover 1,4 tot 1,5 %.

Op wereldschaal zou de productie voldoende zijn om aan de huidige commerciële vraag te voldoen. In ontwikkelingslanden ligt de productie echter aanzienlijk onder de vraag. Om aan de vraag te kunnen voldoen, moeten zij dus hun productie en/of voedselimport aanzienlijk verhogen.

Tabel 25
VOEDSELPRODUCTIE EN BEVOLKINGSGROEI, 1964-1978 (1961-1965 = 100)

| Year | World | | | Developing market economies | | | Asian centr. planned countries | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | total food product | popul. growth | *per capita* food prod. | total food product | popul. growth | *per capita* food prod. | total food product | popul. growth | *per capita* food prod. |
| 1964 | 104 | 102 | 102 | 104 | 103 | 101 | 104 | 102 | 102 |
| 1965 | 104 | 104 | 100 | 104 | 105 | 98 | 108 | 103 | 104 |
| 1966 | 109 | 106 | 103 | 105 | 108 | 97 | 108 | 105 | 103 |
| 1967 | 113 | 108 | 105 | 110 | 111 | 100 | 112 | 107 | 105 |
| 1968 | 116 | 110 | 106 | 115 | 114 | 101 | 112 | 109 | 103 |
| 1969 | 117 | 112 | 104 | 120 | 117 | 103 | 115 | 111 | 104 |
| 1970 | 121 | 114 | 106 | 125 | 120 | 104 | 122 | 113 | 108 |
| 1971 | 125 | 116 | 107 | 125 | 123 | 102 | 126 | 115 | 110 |
| 1972 | 123 | 118 | 104 | 125 | 126 | 99 | 125 | 117 | 107 |
| 1973 | 131 | 121 | 108 | 129 | 129 | 100 | 130 | 119 | 110 |
| 1974 | 132 | 123 | 107 | 132 | 132 | 100 | 133 | 121 | 110 |
| 1975 | 135 | 125 | 108 | 141 | 136 | 104 | 137 | 123 | 112 |
| 1976 | 140 | 128 | 110 | 146 | 139 | 105 | 140 | 128 | 112 |
| 1977 | 144 | 130 | 110 | 151 | 143 | 105 | 149 | 129 | 117 |
| 1978 | 149 | 132 | 112 | 156 | 146 | 106 | 154 | 131 | 119 |

Source: F.A.O., *Production Yearbook*, 1975, 1976, 1978.

Tabel 26

GEHALTE AAN DIERLIJKE EN PLANTAARDIGE EIWITTEN IN DE VOEDSELVOORZIENING PER PERSOON PER DAG, PER REGIO IN DE WERELD 1975-1977

| | Vegetable products (grams) | Animal products (grams) |
|---|---|---|
| Developed market economies | 39.4 | 57.0 |
| N. America | 33.7 | 72.0 |
| W. Europe | 41.0 | 53.2 |
| Oceania | 33.7 | 73.6 |
| Other Developed | 45.6 | 39.7 |
| Developing market economies | 43.5 | 11.9 |
| Africa | 44.3 | 10.6 |
| Latin America | 38.5 | 26.7 |
| Near East | 59.5 | 14.4 |
| Far East | 42.0 | 7.6 |
| Other Developing | 31.1 | 19.0 |
| Centrally planned economies | 50.2 | 24.3 |
| Asian CPE | 49.7 | 13.4 |
| E. Eur. + U.S.S.R. | 51.6 | 51.2 |
| World | 44.8 | 24.4 |

Source: F.A.O., *Production Yearbook*, 1978.

Tabel 27

GESCHATTE VERDELING (%) VAN DE WERELDWIJDE EIWITVOORZIENING PER VOEDSELBRON, 1974

| | |
|---|---|
| Eggs | 2% |
| Fish and seafood | 6% |
| Milk | 11% |
| Meat and offals | 16% |
| Vegetable and fruit | 4% |
| Roots and tubers | 4% |
| Pulses, nuts and oilseeds | 11% |
| Cereals | 46% |

Source: F.A.O., Provisional food balance sheets, 1972-74 Average.

Tabel 28. PROGNOSE VAN DE VOEDSELVRAAG EN -PRODUCTIE TOT 1985

PROJECTIONS OF FOOD DEMAND AND PRODUCTION TO 1985

| | Demand | | Production | | Demand | | Production | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1985 Basic | 1985 Suppl.[1] | 1985 Basic | 1985 Suppl.[1] | 1972-74/85B | 1972-74/85S | 1972-74/85B | 1972-74/S |
| | Volume indices 1972-74 = 100 | | | | Growth rates (%/annum) | | | |
| Developed countries | 118 | 120 | 121 | 122 | 1.4 | 1.5 | 1.6 | 1.7 |
| Market economies | 117 | 118 | 119 | 118 | 1.3 | 1.4 | 1.5 | 1.4 |
| Centrally planned econ. | 123 | 125 | 125 | 131 | 1.7 | 1.9 | 1.8 | 2.3 |
| Developing market econ. | 149 | 159 | 142 | 157 | 3.4 | 3.9 | 3.0 | 3.8 |
| Africa | 153 | 168 | 135 | 143 | 3.6 | 4.4 | 2.6 | 3.0 |
| Far East | 143 | 152 | 142 | 153 | 3.1 | 3.5 | 3.0 | 3.6 |
| Latin America | 151 | 161 | 146 | 161 | 3.5 | 4.1 | 3.2 | 4.1 |
| Near East | 163 | 176 | 141 | 156 | 4.1 | 4.8 | 2.9 | 3.8 |
| Asian centrally planned econ. | 142 | 160 | 138 | 159 | 3.0 | 4.0 | 2.7 | 3.9 |
| All developing countries | 145 | 155 | 139 | 153 | 3.2 | 3.7 | 2.8 | 3.6 |
| World | 131 | 137 | 129 | 135 | 2.3 | 2.6 | 2.1 | 2.5 |

[1] Supplemental or high projection.
Source: F.A.O., *Projections relatives aux produits agricoles, 1975-1985*, Rome, 1979.

*Food*

In het jaar 1990 zou de hoeveelheid invoer die nodig is om hun graantekort te dekken, kunnen stijgen tot 90 miljoen ton per jaar, een hoeveelheid die hun betalingscapaciteit gemakkelijk zou kunnen overschrijden.*

Zelfs als we optimistisch aannemen dat aan deze commerciële vraag in ontwikkelingslanden zal worden voldaan door een toename van de invoer en de productie, zou de verbetering van het gemiddelde voedingspatroon bescheiden zijn. Gezien de sterke bevolkingsgroei zal het absolute aantal ondervoede personen zeer waarschijnlijk toenemen. Om deze mensen van voldoende voedsel te voorzien, zou volgens schattingen van de FAO in 1990 maar liefst 32 miljoen ton voedselhulp of graan nodig zijn.** Dit betekent een verdrievoudiging van het huidige niveau van voedselhulp, maar slechts een stijging van 2 % van de wereldproductie.

Er zijn echter tal van moeilijkheden en problemen. Bovenal is herverdeling van voedsel een impopulaire en moeilijke politieke beslissing: (1) de financiering van deze operatie zou een druk kunnen leggen op de nationale economieën, waardoor er minder middelen beschikbaar zouden zijn voor andere noodzakelijke investeringen, met name in de huidige context van beperkte internationale voedselhulp; (2) het is een complex fenomeen en moeilijk te beheren zonder ongewenste neveneffecten, zoals een daling van de lokale voedselproductie; en (3) ondervoede mensen vormen doorgaans geen politieke achterban, waardoor andere projecten vanuit strikt politiek oogpunt aantrekkelijker zijn. Daarnaast zijn er de praktische problemen van de distributie aan ondervoede mensen onder een meervoudig prijssysteem. Normaal gesproken zijn er ten minste twee prijzen nodig: een lage prijs voor de armen en een hogere prijs om de lokale productie in stand te houden. Onder deze omstandigheden zou het moeilijk zijn om te voorkomen dat het goedkope voedsel terechtkomt bij goed gevoede mensen of speculanten op de zwarte markt. Bovendien zijn er problemen met de integratie van voedselhulp in een groter economisch programma dat meer werkgelegenheid voor de ontvangers mogelijk zou maken. Dit zijn allemaal factoren die verklaren waarom er tot nu toe weinig voedselhulp is geweest.

## BEVOLKING

Het voedselprobleem hangt nauw samen met de bevolkingsgroei, die zich vooral in de ontwikkelingslanden voordoet, zoals blijkt uit tabel 29.

---

** F.A.O ., Conference Agriculture: Toward 2000, Twentieth session, page 182, Rome 1979.*

***Ibid., page 199.*

Tabel 29
STEDELIJKE EN LANDELIJKE BEVOLKING. 1970-2000: MIDDELGROTE VARIANT

| | 1970 | | 1980 | | 1990 | | 2000 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | urban | rural | urban | rural | urban | rural | urban | rural |
| World | 1,368,270 | 2,308,580 | 1,809,480 | 2,605,220 | 2,403,010 | 2,872,280 | 3,160,600 | 3,038,000 |
| **All developed** | 700,066 | 373,744 | 819,659 | 344,121 | 935,521 | 313,149 | 1,043,576 | 281,984 |
| Europe | 302,510 | 157,292 | 340,882 | 142,650 | 374,317 | 126,853 | 408,017 | 112,206 |
| U.S.S.R. | 137,649 | 105,117 | 172,720 | 93,946 | 207,879 | 83,758 | 237,168 | 74,649 |
| North America | 159,339 | 66,860 | 181,335 | 64,897 | 208,611 | 61,728 | 233,597 | 55,809 |
| Japan | 74,398 | 29,947 | 91,043 | 25,321 | 101,812 | 20,957 | 110,674 | 18,227 |
| **All developing** | 668,210 | 1,934,830 | 989,820 | 2,261,100 | 1,467,500 | 2,559,130 | 2,117,030 | 2,756,020 |
| South Asia | 235,032 | 875,599 | 352,800 | 1,068,900 | 542,100 | 1,260,473 | 817,932 | 1,387,384 |
| East Asia | 202,430 | 674,074 | 280,087 | 739,399 | 385,438 | 766,280 | 523,304 | 753,709 |
| Africa | 70,335 | 261,800 | 120,428 | 319,648 | 203,442 | 388,806 | 319,976 | 460,273 |
| Latin America | 162,119 | 120,580 | 238,304 | 130,172 | 337,820 | 140,614 | 456,509 | 151,618 |

Source: U.N., Statistical Office, Population Division of Official Sources, 1979.

De bevolkingsgroei lijkt bestaande problemen steeds meer te verergeren en te versterken, in plaats van de hoofdoorzaak ervan te zijn. Daarom is het onderzoek gericht op het achterhalen van de oorzaak van veranderingen in het geboortecijfer. De eerste belangrijke bevinding is dat het invoeren van anticonceptiemaatregelen in ontwikkelingslanden alleen niet voldoende is om het geboortecijfer te verlagen. Als vrouwen ondervoed zijn en vatbaarder voor infecties en ziekten, of als ze ver van medische voorzieningen wonen, is het gebruik van anticonceptiemiddelen zeer twijfelachtig. Als baby's niet voldoende te eten krijgen, geen medische zorg of sanitaire voorzieningen hebben, met een hoog kindersterftecijfer tot gevolg, willen gezinnen vaak meer kinderen krijgen, zodat ten minste één kind onderwijs kan volgen of kan overleven om voor de ouders te zorgen als ze oud zijn. Zelfs wanneer in deze fundamentele behoeften wordt voorzien, is het belangrijk dat vrouwen de mogelijkheid hebben om naast het baren en opvoeden van kinderen ook nieuwe sociale rollen op zich te nemen. Ze moeten meer macht krijgen dan alleen het moederschap, wat inhoudt dat ze onderwijs en kansen op werk moeten krijgen.

Bevolkingsbeperking en gezinsplanning kunnen dus niet afzonderlijk worden ingevoerd, maar moeten worden beschouwd als een integraal onderdeel van sociale en economische ontwikkeling, samen met betere voeding, de beschikbaarheid van gezondheidsdiensten, onderwijsfaciliteiten, sociale voorzieningen, met name voor ouderen, en ook de rol van vrouwen. Een vermindering van het aantal kinderen kan alleen tot stand komen als paren inzien dat dit een voordeel is voor een beter leven voor henzelf en hun gezin.

## VOEDSEL- EN INKOMENSVERDELING

Een hogere voedselproductie is een noodzakelijke, maar niet voldoende maatregel om de groeiende bevolking te voeden. Een belangrijke vraag is of bevolkingsgroepen die onvoldoende of marginaal eten, wel de koopkracht hebben om in hun voedingsbehoeften te voorzien. De schattingen van de inkomensverdeling voor verschillende landen zijn niet bemoedigend (zie tabel 30). In de 44 onderzochte landen beschikte de armste 40 % van de bevolking over slechts 14 % van het totale nationale inkomen. Helaas zijn de dynamische aspecten van de inkomens- en voedselverdeling eveneens verontrustend, aangezien de armste bevolkingsgroepen in veel gevallen niet substantieel hebben geprofiteerd van de inkomensgroei in hun land.

Wat koopkracht betreft, mag niet worden aangenomen dat deze landen zich noodzakelijkerwijs volgens het westerse ontwikkelingspatroon moeten ontwikkelen. Zo kan bijvoorbeeld arbeidsintensieve, "intermediaire" landbouwtechnologie doorgaans geschikter zijn. Goederen en diensten kunnen in coöperatieve structuren worden georganiseerd, zodat de individuele koopkracht aan belang inboet; en bepaalde groepen kunnen hun productie voldoende verhogen om zelfvoorzienend te worden zonder volledig in een monetair of handelssysteem te stappen. Zo kunnen lokale stammen, communes of bepaalde regio's relatief zelfvoorzienend worden (door betere landbouwpraktijken of verbeterde gewasvariëteiten) en zo meer vrijheid krijgen voor een onafhankelijke en andere vorm van ontwikkeling. Het is duidelijk dat dit laatste geen algemene oplossing is in sterk verstedelijkte landen. Het kan echter wel geldig zijn voor een aanzienlijk deel van de bevolking en dus een nuttige gedeeltelijke of overgangsstrategie zijn.

Er zijn ook problemen met de distributie van voedselproductie en -consumptie. De ongelijke verdeling tussen landen wordt geïllustreerd door de jaarlijkse graanconsumptie in Noord-Amerika, waar ongeveer 1000 kg per persoon wordt verbruikt, vergeleken met ongeveer 200 kg *per hoofd van de bevolking* in de ontwikkelingsgebieden. In Noord-Amerika wordt het grootste deel van het graan aan dieren gevoerd, elders wordt het door mensen gegeten. De onevenwichtige verdeling wordt nog verergerd wanneer de prijzen voor voedsel of landbouwgrondstoffen, die zowel door ontwikkelingslanden als ontwikkelde landen worden geconsumeerd, hoog zijn. De rijken en de armen concurreren om dezelfde hulpbronnen, met voorspelbare gevolgen.

1000 kg

In arme gezinnen krijgen kinderen en vrouwen vaak niet het deel van de voedselvoorraad dat in verhouding staat tot hun fysiologische behoeften. Daar kunnen fysiologische redenen voor zijn: kinderen kunnen hun eetlust verliezen, de efficiëntie van de benutting van voedingsstoffen kan door infecties afnemen, of het lokale dieet kan te weinig voedzaam zijn voor een adequate inname door zuigelingen. Aan de andere kant kan een verminderde voedselinname door vrouwen en kinderen een weerspiegeling zijn van hun lagere sociale status binnen een cultuur.

Een vorm van herverdeling van voedsel of inkomen wordt beschouwd als een essentieel element in de aanpak van het probleem van ondervoeding. China is een voorbeeld van hoe onder extreme omstandigheden een radicale politieke verandering nodig kan zijn om herverdeling van inkomen te realiseren: door deze verandering is ondervoeding voor 800 miljoen mensen vrijwel uitgebannen

TABEL 30. INKOMENSVERDELING (geschat), PERCENTAGE VAN HET TOTALE NATIONALE INKOMEN DAT NAAR BEVOLKINGSGROEPEN MET VERSCHILLENDE INKOMENSNIVEAUS IN GESELECTEERDE LANDEN GAAT

| Countries | Poorest 0-20% | Low Middle* 21-39% | Middle 40-60% | Upper Middle 61-79% | Highest 80% |
|---|---|---|---|---|---|
| Brazil | 3.50 | 9.00 | 10.20 | 15.80 | 61.50 |
| Burma | 10.00 | 13.00 | 13.00 | 15.50 | 48.50 |
| Ceylon (Sri Lanka) | 4.45 | 9.21 | 13.81 | 20.22 | 52.31 |
| Chile | 5.40 | 9.60 | 12.00 | 20.70 | 52.30 |
| Colombia | 2.21 | 4.70 | 8.97 | 16.06 | 68.06 |
| Dahomey | 8.00 | 10.00 | 12.00 | 20.00 | 50.00 |
| Ecuador | 6.30 | 16.00 | 13.40 | 22.60 | 41.80 |
| Gabon | 2.00 | 6.00 | 7.00 | 14.00 | 71.00 |
| India | 8.00 | 12.00 | 16.00 | 12.00 | 42.00 |
| Iraq | 2.00 | 6.00 | 8.00 | 16.00 | 68.00 |
| Ivory Coast | 8.00 | 10.00 | 12.00 | 15.00 | 55.00 |
| Jamaica | 2.20 | 6.00 | 10.80 | 19.50 | 61.50 |
| Lebanon | 3.00 | 4.20 | 15.80 | 16.00 | 61.00 |
| Libyan Arab Republic | 0.11 | 0.39 | 1.28 | 8.72 | 89.50 |
| Mexico | 3.66 | 6.84 | 11.25 | 20.21 | 58.04 |
| Niger | 12.00 | 11.00 | 12.00 | 23.00 | 42.00 |
| Pakistan | 6.50 | 11.00 | 15.50 | 22.00 | 45.00 |
| Peru | 4.04 | 4.76 | 8.30 | 15.30 | 67.60 |
| Philippines | 4.30 | 8.40 | 12.00 | 19.50 | 55.80 |
| Senegal | 3.00 | 7.00 | 10.00 | 16.00 | 64.00 |
| South Africa | 1.94 | 4.17 | 10.16 | 26.37 | 57.36 |
| Sudan | 5.60 | 9.40 | 14.30 | 22.60 | 48.10 |
| Tunisia | 4.97 | 5.65 | 9.95 | 14.43 | 65.00 |
| Venezuela | 4.40 | 7.00 | 16.60 | 24.90 | 47.10 |
| Zambia | 6.27 | 9.58 | 11.10 | 15.95 | 57.10 |
| Average of 44 selected countries | 5.6 | 8.40 | 12.00 | 17.71 | 56.00 |

* Berekend op basis van de oorspronkelijke tabel.
Bron: J. Adelman en C. T. Morris (1971 en 1973), An anatomy of income distribution patterns in developing countries. *Development Digest*, okt. 1971.

sinds de Tweede Wereldoorlog in een relatief korte periode. Het is vreemd dat, hoewel er algemene overeenstemming bestaat over het feit dat een burger recht heeft op openbaar vervoer, goedkoop onderwijs, ouderdomspensioen of openbare gezondheidszorg, onze samenleving nog steeds voorbij lijkt te gaan aan de fundamentele behoefte aan voeding.

## URGENTIE EN COMPLEXITEIT VAN HET PROBLEEM

Deze bevindingen benadrukken de urgentie van voedselonderzoek en inspanningen op het gebied van agrarische ontwikkeling. Economische ontwikkeling is een langzaam proces. Zelfs met aanzienlijke uitgaven voor onderzoek en investeringen in de landbouw zullen pas na jaren, zo niet decennia, significante resultaten worden bereikt. Pas wanneer een hogere levenskwaliteit wordt bereikt, begint het geboortecijfer te dalen, gevolgd door een stabilisatie van de bevolking decennia later. Als het beleid op het gebied van onderzoek en ontwikkeling *op het huidige niveau blijft*, lopen we het risico dat het voedseltekort in de toekomst nog verder toeneemt.

Een andere belangrijke reden tot bezorgdheid is de complexiteit van het voedselprobleem. Het gaat niet alleen om de productie van voedsel, maar evenzeer om de distributie ervan tussen landen, binnen landen en binnen gezinnen. Adequate voeding is afhankelijk van een complex geheel van onderling samenhangende sociaaleconomische factoren, die kunnen worden gegroepeerd in organisatorische subsystemen van voedselproductie, voedselverdeling, gezondheid en hygiëne, marketing en consumentengedrag, sociale structuur en culturele normen. Een storing in een van deze subsystemen kan uiteindelijk leiden tot een afname van de voedingsinname. Zo kan slechte hygiëne leiden tot darminfecties die de effectieve voedingsinname verminderen en uiteindelijk ondervoeding veroorzaken. Bovendien kan de productie worden beperkt door verouderde eigendomsstructuren of een gebrek aan organisatie voor een effectief gebruik van schaalvoordelen.

Een ander voorbeeld: na de productie komen de op de markt gebrachte levensmiddelen terecht in het fysieke distributiesubsysteem, waar kleine producenten en arme consumenten vaak met problemen worden geconfronteerd. Deze distributieproblemen kunnen worden gekenmerkt door een gebrek aan adequate transport-, opslag-, koel- en conserveringsmiddelen. Dit leidt tot voedselverlies en hogere prijzen voor de consument.

De sociale structuur, die vooral wordt beïnvloed door de inkomensverdeling, bepaalt grotendeels de mate van potentiële ondervoeding. Culturele en sociale factoren, zoals eetgewoonten, kunnen echter ook bijdragen aan de ongelijke verdeling van voedsel. Zo leidt een hoger inkomen doorgaans tot een beter voedingspatroon, terwijl bescheiden inkomensstijgingen aan de onderkant van de inkomensschaal vaak gepaard gaan met nadelige gevolgen. Niet-voedzame producten en andere producten concurreren om de kleine inkomensstijgingen. Dit komt voornamelijk door reclame, marketingpraktijken

en consumentengedrag dat wordt aangetroffen in markteconomieën. Sociale en culturele factoren beïnvloeden het koopgedrag, wat bijvoorbeeld kan leiden tot statusgerichte aankopen. Daarnaast kan er een gebrek aan kennis over voeding zijn of kan deze kennis ineffectief zijn.

Er moet onderscheid worden gemaakt tussen twee aspecten van het voedseltekortprobleem: ten eerste het kortetermijnprobleem van ernstige lokale crises als gevolg van onverwachte veranderingen in omstandigheden, zoals droogte, overmatige regenval of hoge voedselprijzen, en ten tweede het langetermijnprobleem van de altijd aanwezige honger en ondervoeding van de armste mensen ter wereld. Deze studie richt zich voornamelijk op het laatste aspect.

Een bijkomende complexiteit is de onderlinge afhankelijkheid van de wereldvoedseleconomie. Dit komt deels voort uit de afhankelijkheid van de meeste landen van een klein aantal gemeenschappelijke bronnen van energie en grondstoffen voor meststoffen. De dramatische stijging van de prijzen van deze grondstoffen voor de landbouw veroorzaakt schokgolven door het hele voedselsysteem. De onderlinge afhankelijkheid wordt ook vergroot door het feit dat veel landen hun binnenlandse productiedoelstellingen niet halen, met als gevolg een toename van de voedselimport. Evenzo zullen abrupte veranderingen in de voedselhandel gevolgen hebben in verre uithoeken van de wereld. Helaas vergroten de afname van de graanreserves, de grote afhankelijkheid van één regio, Noord-Amerika, voor het wereldwijde voedseloverschot en de afname van ongebruikte landbouwgrond in die regio de kans op instabiliteit in het systeem.

## AFVAL IN DE LANDBOUW

Een voorbeeld van de belangrijkste gewas- en materiaalverliezen die momenteel in de landbouw en het voedselsysteem voorkomen, wordt geïllustreerd in Fig. 44. Om te beginnen kan er door erosie aanzienlijk verlies van de bovengrond optreden, wat resulteert in een lagere gewasproductiviteit. In de plantfase kunnen verschillende verliezen optreden: van onjuist zaaien tot een minder dan optimale combinatie van de gewassoort met de gegeven bodem- en klimaatomstandigheden. Gewasverliezen door plagen, voornamelijk in de vorm van insecten, onkruid of microben, worden wereldwijd geschat op maar liefst 30 % van de totale gewasproductie. Met nutriëntenverliezen wordt bedoeld dat ongebruikte nutriënten niet langer beschikbaar zijn voor opname door planten. Zo is de toepassing van meststoffen niet perfect en bereikt een aanzienlijke hoeveelheid de plant niet in de juiste hoeveelheid of op het juiste moment. Soortgelijke verliezen doen zich voor bij het gebruik van water, en de productie kan dalen als gevolg van water

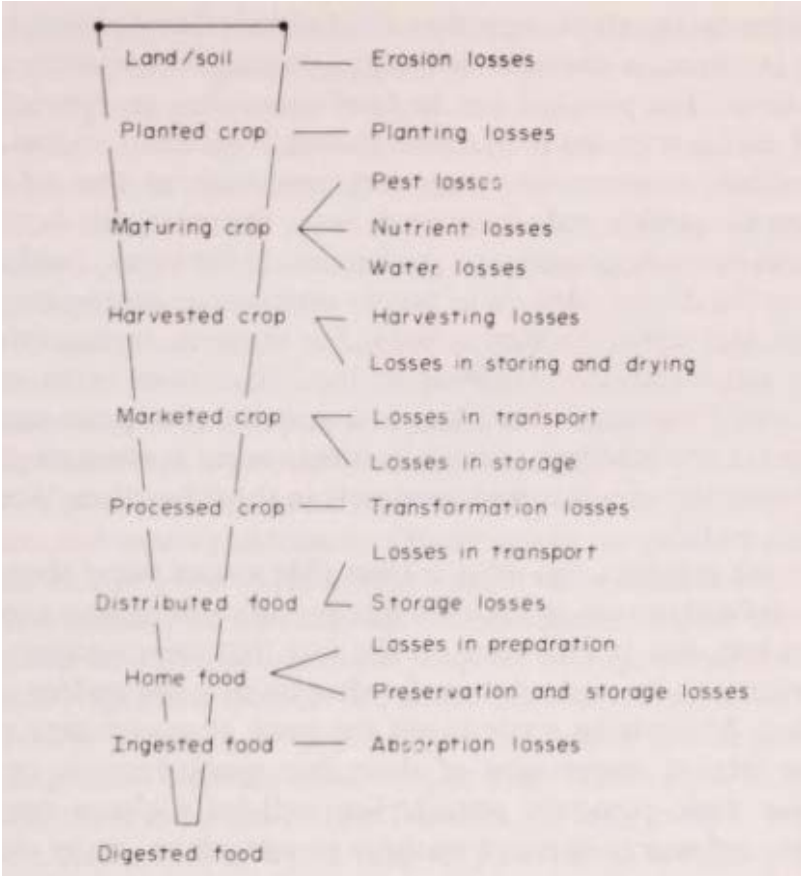



Fig. 44. Belangrijke verliezen in een industrieel voedselsysteem (voor een gewas). (*Opmerking*: energieverliezen doen zich in elke fase van het voedselsysteem voor en worden niet specifiek aangegeven.)

wanbeheer, gebrek aan irrigatie of slecht weer. Bij het oogsten wordt niet alle bruikbare oogst verzameld; en in de daaropvolgende stadia van opslag of droging vinden ook fysieke verliezen plaats. Hoewel het moeilijk is om een nauwkeurige meting van het oogstverlies bij het oogsten te verkrijgen, wordt het wereldwijde gemiddelde geschat op ongeveer 20%. Wanneer het gewas in het distributiesysteem terechtkomt, transport en extra opslag nodig is, wat vaak gepaard gaat met voedingswaardeverlies en fysieke verspilling. Opslag, inclusief koeling, kan het proces van biologische afbraak niet volledig stoppen, hoewel grotere verliezen waarschijnlijk worden veroorzaakt door knaagdieren en insecten als gevolg van ontoereikende opslagfaciliteiten en niet zozeer door deze inherente biologische beperking. Bij de verwerking van een gewas tot een voedingsmiddel of bij de bereiding ervan

van voedsel om te eten, Er is nog een andere reeks chemische en fysische verliezen, die meestal gepaard gaan met een afname van het energie-, eiwit- en vitaminegehalte van het voedsel. Het fysische verlies bij de verwerking van voedsel bedraagt naar verluidt gemiddeld 10 % van de input. Verwerking is noodzakelijk om sommige gewassen eetbaar te maken, maar in veel gevallen, zoals bij tarwe, waarbij de eiwit- en vitaminerijke zemelen worden verwijderd, wordt de verwerking voornamelijk ingegeven door traditie en smaakvoorkeuren. Thuis kan voedsel worden verspild aan de eettafel, door een onjuiste verdeling onder de gezinsleden en binnen het menselijk lichaam. Bepaalde infectieziekten kunnen bijvoorbeeld de efficiëntie van de voedselopname met wel 30% verminderen. Ten slotte kan te veel voedsel worden geconsumeerd, wat kan leiden tot obesitas en andere gezondheidsproblemen. Energieverliezen doen zich in elke fase van het voedselsysteem voor en worden apart besproken in de subparagraaf “Voeding en energie”, p. 185.

Uit de vorige Fig. 44 blijkt duidelijk dat er in het hele voedselsysteem, zowel in het aanbod- als in het consumptieproces, afval ontstaat. Minder duidelijk, maar even belangrijk, is het feit dat verbeteringen in het voedselsysteem gericht kunnen zijn op het verminderen van afval en/of het verhogen van de productie. Het minimaliseren van afval is niet hetzelfde als het maximaliseren van de productie, en het relatieve belang van deze twee doelstellingen hangt af van de specifieke sociaaleconomische context. Voor welvarende samenlevingen die gebruikmaken van grondstof- en energie-intensieve landbouwmethoden, speelt afvalvermindering een veel belangrijkere rol dan in veel ontwikkelingslanden, waar voedselproductie de hoogste prioriteit heeft. De ontwikkelingslanden kunnen de voedselproductie verhogen door meer efficiëntie, zonder echter het afvalniveau van de industriële voedselsystemen te bereiken. In plaats daarvan hebben ontwikkelde landen meer flexibiliteit en mogelijkheden om afval in hun voedselsystemen te verminderen, terwijl ze tegelijkertijd voldoende voedingswaarden behouden. Deze veranderingen moeten plaatsvinden in de context van een verantwoordelijker beheer van natuurlijke hulpbronnen.

## AGRARISCHE ORGANISATIE

De organisatie van de landbouwsector is een uiterst belangrijke factor die bepaalt of technische verbeteringen op grote schaal zullen worden toegepast. In veel ontwikkelingslanden wordt de sector gekenmerkt door een relatief kleine groep landeigenaren die een aanzienlijk deel van het land bezitten en over aanzienlijke politieke macht beschikken, samen

met een grote groep landloze boeren, kleine boeren, deelpachters en andere pachters. Deze combinatie belemmert verbeteringen, aangezien kleine boeren, deelpachters en pachters grotendeels geen economische middelen of prikkels hebben om hun productie te verbeteren. Tegelijkertijd zijn grote landeigenaren, die zelfs bij een bescheiden productiviteit aanzienlijke winsten behalen, niet noodzakelijk geneigd om investeringen te doen. Bovendien verbouwen veel grote landeigenaren exportgewassen zoals koffie, thee, cacao of rubber.

De afschaffing van feodale productievormen ging gepaard met de vooruitgang op landbouwgebied in de meeste ontwikkelde landen, en deze sociale vooruitgang wordt gezien als een voorwaarde voor duurzame groei in de landbouw.

Landbouwhervormingen zijn in de eerste plaats nodig om: (1) de grote massa boeren en kleine landeigenaren voldoende te stimuleren, (2) huurders eerlijke huurprijzen en zekerheid te bieden, (3) de boeren en kleine landeigenaren te hergroeperen in meer levensvatbare verenigingen of eenheden die in staat zijn krediet te verkrijgen en de nodige landbouwinputs te gebruiken, en (4) het land te behouden en te beschermen, door de aankoop voor niet-agrarische doeleinden te beperken..

Effectieve landhervormingen maken gebruik van factoren die schaalvoordelen mogelijk maken. Zo kunnen bijvoorbeeld irrigatie en ongediertebestrijding over een groot gebied worden uitgevoerd. Ook kunnen kleine boeren verenigingen vormen om krediet te verkrijgen of andere faciliteiten te delen. Zolang deze schaalvoordelen worden benut, kan de grootte van het perceel van een boer variëren. Het is van het grootste belang dat de boer op adequate en rationele wijze gebruik maakt van landbouw-inputs (benodigdheden, zaden, meststoffen, pesticiden, machines, etc) en een groot belang heeft bij het succes van zijn coöperatie of individuele boerderij.

De aard van landbouwinputs is op zich al een complexe sociale en technologische kwestie. In de meeste ontwikkelingsgebieden groeien de industriële en dienstensectoren weliswaar, maar hun capaciteit om nieuwe arbeidskrachten op te nemen is vrij beperkt, en daarom moet kapitaalintensieve landbouw worden ontmoedigd. Landbouwhervormingen moeten worden gecoördineerd met een werkgelegenheidsbeleid. Mechanisatie van de landbouw moet selectief zijn en alleen worden toegepast wanneer dat absoluut noodzakelijk is, en arbeidskrachten moeten worden ingezet wanneer dat praktisch haalbaar is. Er moet bewust worden gezocht naar en gebruik worden gemaakt van efficiënte arbeidsintensieve praktijken, zoals het wieden van onkruid en het gebruik van organische meststoffen. In extreme gevallen, waarin het beschikbare krediet zeer beperkt is en landbouwhervormingen moeilijk zijn, zal technologie moeten worden geïntegreerd in andere goedkope inputs, zoals opleiding en verbeterde

landbouwpraktijken. In veel landen is er echter behoefte aan meer opleiding en technische bijstand, die in de landbouwhervorming kunnen worden opgenomen.

Een andere organisatorische factor, de efficiëntie van het voedseldistributiesysteem, heeft belangrijke gevolgen voor de landbouw en naast landbouwhervormingen kunnen ook verbeteringen in deze sector nodig zijn. Een voedseldistributiesector kan vanuit praktisch standpunt aanzienlijke voedselverliezen veroorzaken als gevolg van ontoereikende opslag-, transport- of koelfaciliteiten. Vanuit economisch oogpunt leidt een inefficiënt distributiesysteem met hoge kosten en vaak buitensporig hoge winstmarges, mogelijk gemaakt door het oligopolistische karakter van de sector, tot hogere voedselprijzen. Dit maakt het voor de boer, die vaak in een bijna zuivere concurrentiesituatie opereert, moeilijk om zijn prijzen en winsten te verhogen. Als gevolg hiervan kan de uitbreiding van de voedselproductie vertraging oplopen. De realisatie van een efficiënt voedselverdelingssysteem is een complexe taak en er is geen enkel systeem dat duidelijk superieur is. Beheer en controle van het systeem door de boeren, overheidscontrole op de groothandels- en detailhandelsprijzen of een meer concurrerend distributiesysteem zijn allemaal mogelijkheden.

## CALORIEËN EN EIWITTEN

Wat de eiwitinname betreft, zijn voedingsdeskundigen al lang bekend met de "eiwitbesparende werking van koolhydraten". Het is bekend dat het lichaam in de eerste plaats energie nodig heeft en dat eiwitten alleen als brandstof worden gebruikt wanneer de energievoorziening uit koolhydraten ontoereikend is. Desondanks hebben goedbedoelende mensen eiwitconcentraten (net als vitamines) naar slachtoffers van hongersnood gestuurd. Dertig jaar geleden werd eiwittekort vastgesteld bij sommige bevolkingsgroepen die een dieet volgden dat voldoende energie bevatte. Het werd vooral aangetroffen bij mensen die zich voornamelijk voedden met wortels en knollen, wat typerend is voor een groot deel van Afrika. Men realiseerde zich ook dat de lokale productie van eiwitconcentraten, die nodig waren om deze ontoereikende voeding te verbeteren, wellicht moeilijk zou zijn. Daarom werd in veel instituten actief onderzoek gedaan naar eiwitconcentraten, waardoor de indruk ontstond dat eiwitten een bijzonder belang hadden. In feite zijn eiwitten, samen met energie, vitamines en mineralen, slechts één van de essentiële componenten van een evenwichtige voeding.

Diëten op basis van peulvruchten en granen zijn wijdverbreid in een groot deel van de ontwikkelingslanden. Gebleken is dat als deze diëten worden gegeten in hoeveelheden die voldoende zijn om in de energiebehoefte te voorzien, ze voldoende eiwitten leveren om de noodzakelijke stikstofbalans voor een grote meerderheid van deze bevolkingsgroepen in stand te houden. Helaas is er geen positief bewijs voor de hoeveelheid eiwitten die dagelijks moet worden gegeten voor een optimale voeding. Dit wordt nog bemoeilijkt door het feit dat een adequaat voedingspatroon sterk varieert naargelang de fysieke kenmerken en het activiteitenniveau van de betreffende populatie. Het is duidelijk dat niemand langdurig meer stikstof kan uitscheiden dan hij opneemt. Maar het is een pure veronderstelling dat zodra iemand in stikstofbalans is, de eiwitinname optimaal is. De meningen lopen uiteen over de mate waarin eiwitten, boven de hoeveelheid die nodig is voor een evenwichtige voeding, bijdragen aan weerstand en herstel van infecties, en aan algemene vitaliteit en intellectuele alertheid. Zoals bij alle wetenschappelijke kwesties waarvoor geen definitief bewijs bestaat, veranderen de meningen. Op dit moment wordt aangenomen dat een adequate voeding iets meer eiwitten bevat dan nodig is voor een evenwichtige voeding. Aangezien er echter geen optimale eiwitniveaus zijn vastgesteld en er mensen bij betrokken zijn, is het wellicht beter om aanzienlijk meer eiwitten toe te dienen dan nodig is voor de stikstofbalans. Voor een deel van de ondervoede bevolking zou dit kunnen betekenen dat het bestaande dieet van peulvruchten en granen moet worden uitgebreid, zelfs tot boven het niveau van de minimale energiebehoefte. Voor andere bevolkingsgroepen moeten eiwitrijke voedingsmiddelen of voedings-supplementen het lokale dieet aanvullen.

Er moet iets worden gezegd over de invloed van eiwitrijke en vooral dierlijke eiwitrijke diëten op de totale voedsel situatie in de wereld. In rijke landen ligt de consumptie van vlees waarschijnlijk aanzienlijk hoger dan wat nodig is voor een goede gezondheid en lijkt dit de oorzaak te zijn van veel ziekten in welvarende samenlevingen. In Canada bijvoorbeeld wordt iets meer dan 10 % van het graan per hoofd van de bevolking rechtstreeks geconsumeerd, terwijl de rest via de inefficiënte tussenkomst van vee wordt omgezet in eiwitten. In India daarentegen bedraagt de directe consumptie per hoofd van de bevolking 83%. Er is echter een tendens dat de meer bevoorrechte klassen in ontwikkelingslanden de welvarende landen navolgen door hun vraag naar vleeseiwitten sterk te verhogen. Een Amerikaans dieet voor iedereen in de wereld zou een toename van de voedselproductie met 400% vereisen. Naarmate de wereldbevolking toeneemt en daarmee de druk op de voedselvoorziening, kan het nodig zijn om de rijke landen aan te moedigen hun

vleesconsumptie te verminderen, een maatregel die gunstige gevolgen voor de gezondheid zou hebben.

Gezien deze inleidende opmerkingen is het relevant om nader in te gaan op: (1) trends op het gebied van voedselproductie en landbouwgrondstoffen; (2) de belangrijkste beperkende factoren voor de productie; en (3) het soort onderzoek dat nodig is om deze beperkingen aan te pakken.

## 4.2. Voedselproductie en landbouwgrondstoffen

In de inleiding hebben we veel sociale en organisatorische aspecten van voedselproductie besproken. We hebben gezien dat allerlei factoren, van het uitblijven van landbouwhervormingen tot het onjuist beheer van voedselhulp, de voedselproductie kunnen beperken. Ook grondstoffen en inputs voor de landbouw kunnen beperkende factoren voor de voedselproductie zijn.

In dit hoofdstuk wordt kort de biochemische functie van elk van de belangrijkste inputs beschreven, samen met een bespreking van de bestaande beperkingen en mogelijke manieren om deze beperkingen aan te pakken. De “gratis” hulpbronnen licht en kooldioxide worden besproken, gevolgd door land, water, meststoffen en energie. Ook wordt ongediertebestrijding beschreven, die deels als een biochemische hulpbron en deels als een sociaal-economische input wordt beschouwd. De hulpbronnen kapitaal en technologie zijn impliciet aanwezig in de analyses van de methoden en het onderzoek dat nodig is om deze beperkingen aan te pakken, en de input van arbeid wordt kort besproken in de context van landbouwhervorming en economische planning.

Zelfs bij arbeidsintensieve landbouw is de introductie van eenvoudige machines noodzakelijk om het bewerken van het land te verbeteren, oogstverliezen bij de teelt, conservering of ongediertebestrijding te verminderen en de kwaliteit van voedingsmiddelen te verbeteren door drogen en andere verwerkingsprocessen. In Afrika bijvoorbeeld, waar weinig dierkracht beschikbaar is, zijn eenvoudige gemechaniseerde landbouwmachines een noodzaak. In andere gebieden kan mechanisatie meervoudige teelt mogelijk maken, met een overeenkomstige toename van de productie. Deze machines of installaties kunnen zelden zonder ingrijpende aanpassingen aan de lokale omstandigheden worden gebruikt. Dit kan op zijn beurt lokale constructie vereisen in samenwerking met technologisch meer geavanceerde landen.

Om de allocatie van deze inputs, waaronder arbeid, kapitaal, technologie en grondstoffen, te illustreren, wordt de "Groene Revolutie" kort beschreven.

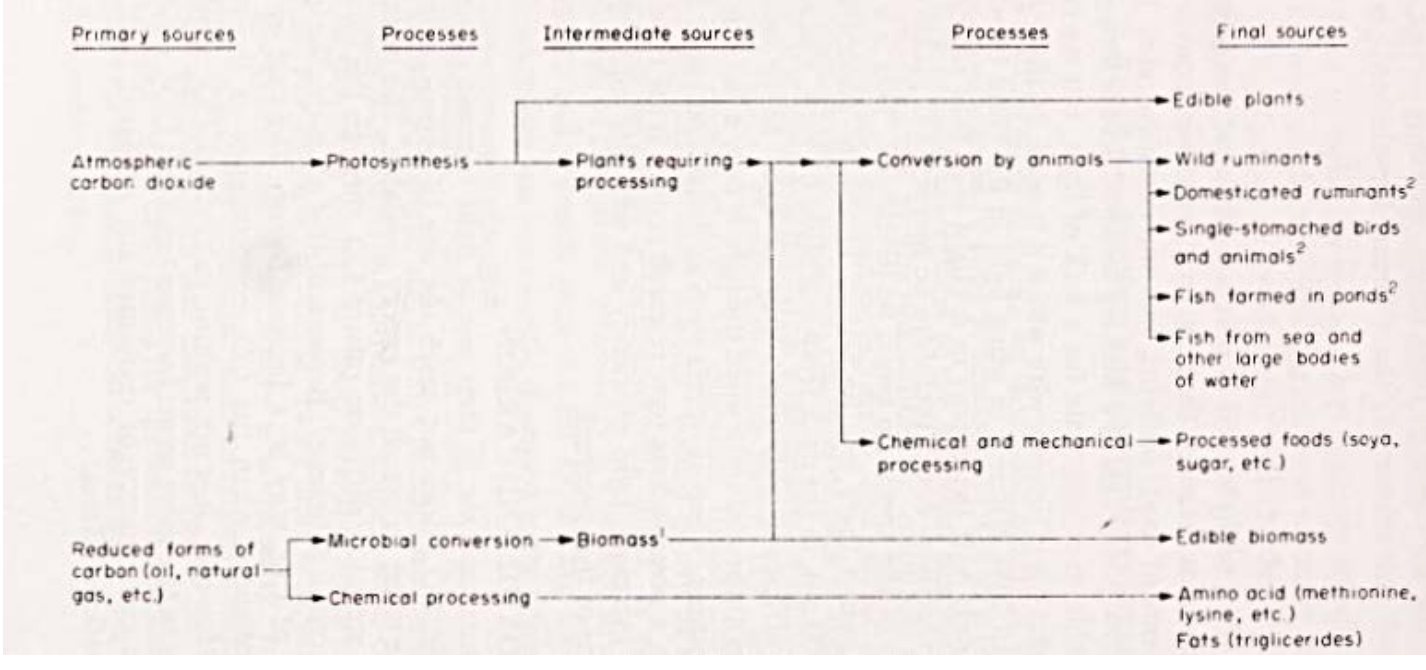
## LICHT

De energie uit zonlicht die bij fotosynthese wordt gebruikt, reduceert koolstofdioxide uit de atmosfeer tot stoffen die vervolgens door enzymatische processen worden omgezet in de basisbestanddelen van voedsel: eiwitten, vetten en koolhydraten. In een groot deel van de wereld is onvoldoende zonlicht een beperkende factor. Er is weinig kans dat we het gebrek aan licht kunnen compenseren, maar we kunnen wel iets doen aan de efficiëntie waarmee het wordt gebruikt. In theorie zou een plant 18 tot 20 % efficiënt moeten zijn in het gebruik van licht in het spectrum tussen 350 en 700 nm; slechts de helft van de energie in zonlicht bevindt zich in dat deel van het spectrum. De productiviteit zou dus kunnen worden verhoogd als er planten zouden kunnen worden ontwikkeld die meer van het spectrum kunnen gebruiken. Dit is een zeer onwaarschijnlijke mogelijkheid, hoewel er een bacterie bekend is die fotosynthese uitvoert met licht van 900 nm, vanuit ons perspectief in het donker. Planten verschillen sterk in de efficiëntie waarmee ze licht gebruiken. Veel gewassen, zoals tarwe en aardappelen, raken verzadigd wanneer het licht slechts een derde zo intens is als de middagzon, terwijl andere gewassen, zoals maïs en suikerriet, dat niet doen. Daarom is een mogelijk langetermijnonderzoeksproject de ontwikkeling van gewassen met een verhoogde lichtefficiëntie en met het vermogen om extra delen van het spectrum te gebruiken.

## KOOLSTOFDIOXIDE EN KOOLSTOF

Planten maken slechts gedeeltelijk gebruik van het beschikbare licht omdat koolstofdioxide ($CO_2$) in de atmosfeer niet snel genoeg de plaats van fotosynthese bereikt om alle beschikbare energie te kunnen benutten. De belangrijkste oorzaken hiervan zijn een lage diffusiesnelheid van $CO_2$ door de huidmondjes van het blad en een tekort aan enzymen. Door deze belemmering kan de concentratie van $CO_2$ in de omgeving een beperkende factor zijn. De fotosynthesesnelheid wordt verhoogd wanneer de $CO_2$-concentratie in kassen wordt verhoogd. Het is echter niet realistisch om op korte termijn $CO_2$-bemesting op veldschaal te overwegen. Een verhoogde $CO_2$-concentratie in de omgeving, die met zekerheid wordt voorspeld als gevolg van het voortdurende gebruik van fossiele brandstoffen, zou enkele gunstige effecten kunnen hebben.

Tabel 31.
Koolstofbronnen voor menselijke voeding




Opmerkingen: 1 Sommige soorten biomassa moeten door dieren of chemische processen worden omgezet.
2 Behalve wanneer afval wordt gebruikt voor voeding, consumeren deze dieren planten (zoals graan) die anders voor efficiëntere menselijke voeding zouden kunnen worden gebruikt.

De bronnen van koolstof voor voedsel worden weergegeven in tabel 31. $CO_2$ in de atmosfeer is de belangrijkste bron van koolstof. Deze bron wordt voortdurend aangevuld, hoewel de concentratie ongunstig laag is. De koolstof in olie en gas is al gereduceerd, zodat organismen in aanwezigheid van zuurstof uit de atmosfeer op deze substraten kunnen groeien, maar de voorraad is niet onuitputtelijk. Steenkool gaat veel langer mee en het is jammer dat er zo weinig aandacht wordt besteed aan technieken om het als microbiële substraat te gebruiken. In sommige delen van de wereld zijn er alkalische meren die rijk zijn aan carbonaten en waarin een blauwgroene alg, Spirulina, weelderig groeit en nu op nuttige wijze wordt geëxploiteerd. De teelt van deze of andere algen brengt problemen met zich mee die verband houden met de toevoer van $CO_2$ en de bescherming tegen verontreinigende stoffen en concurrenten. Deze kwestie wordt in paragraaf 4.3 nader besproken.

Planten hebben bijgedragen aan de vorming van de atmosfeer waarin ze leven, maar ze zijn er niet goed aan aangepast. De meeste planten accumuleren meer organisch materiaal wanneer er minder zuurstof aanwezig is, waarschijnlijk omdat veel van wat is gesynthetiseerd normaal gesproken wordt vernietigd door fotorespiratie. Het is onwaarschijnlijk dat een praktische landbouwmethode deze beperkende factor zou kunnen verminderen.

## LAND

Een andere beperkende factor is het landoppervlak dat kan worden bebouwd. Het in cultuur brengen van nieuwe gebieden is een voor de hand liggende manier om de voedselproductie te verhogen.

Momenteel wordt slechts ongeveer 60 % van het potentieel bebouwbare land gebruikt voor landbouw. De bebouwde en bebouwbare landoppervlakten van de wereld zijn weergegeven in tabel 32. Een van de regio's met de ernstigste ondervoeding, Zuid-Azië, heeft helaas het minste ongebruikte bebouwbare land over.

De regio's waar de meeste uitbreiding van landbouwgrond mogelijk is, zijn Zuid-Soedan, het door de tseetseevlieg geteisterde gebied in Centraal-Afrika en delen van het Amazonegebied. Helaas is veel van deze resterende landbouwgrond oppervlakkig gezien waterloos, aangetast of verwoest, of ligt deze in de vochtige tropen, waardoor de economische haalbaarheid van de exploitatie ervan twijfelachtig is. Succesvol onderzoek naar de bestrijding van de tseetseevlieg of naar het immuun maken van vee tegen trypanosomiasis, de slaapziekte die door de tseetseevlieg wordt overgebracht, zou echter meer dan 5 miljoen vierkante kilometer vrij kunnen maken voor veeteelt. De landbouw zou aanzienlijk kunnen worden uitgebreid in twee andere uitgestrekte, potentieel vruchtbare gebieden: het stroomgebied van de Volta, als de ziekte, de rivier-

Tabel 32. POTENTIEEL BEBOUWBAAR GEBIED IN VERGELIJKING MET BEBOUWD GEBIED, 1977

| | Population (in millions) | Cultivated land ($10^6$ hectares) | Cultivable land ($10^6$ hectares) | % |
|---|---|---|---|---|
| All developed | 1.138 | 671 | 904 | 74 |
| North America | 240 | 231 | 274 | 84 |
| Western Europe | 367 | 96 | 532 | 70 |
| Eastern Europe and U.S.S.R. | 369 | 279 | | |
| Oceania | 17 | 45 | 70 | 64 |
| Other developed | 144 | 20 | 28 | 71 |
| All developing | 3.043 | 791 | 1.550 | 51 |
| Latin America | 340 | 143 | 592 | 24 |
| Africa | 344 | 181 | 436 | 42 |
| Near East | 200 | 81 | 88 | 92 |
| Far East | 1.157 | 266 | 310 | 86 |
| Asian CPE | 996 | 118 | 124 | 95 |
| Other developing | 4 | 1 | N.A. | — |
| World total | 4.182 | 1.462 | 2.454 | 60 |

Bron: F.A.O., *Production Yearbook*, 1978 (voor gegevens over gecultiveerd land). *World Food Problems*, Report of the President's Scientific Advisory Committee (gegevens over cultiveerbaar land).

blindheid, kon worden beheerst, en het stroomgebied van de Mekong door de ontwikkeling van deze relatief dunbevolkte regio.

In de tropen zijn er veel obstakels voor de ontginning van nieuwe gebieden. De tropische landbouwkunde is nog relatief onderontwikkeld en het is moeilijk om landbouwtechnieken uit gematigde klimaten aan te passen aan arme gronden die zijn verwoest door hevige regenval en brandende zon. De problemen van uitspoeling en het verlies van vruchtbare grond zijn nog niet opgelost. Bovendien is de efficiëntie van mest in tropische gebieden lager dan in gematigde klimaten en hecht de grond niet goed, waardoor erosie een voortdurend gevaar vormt. Er bestaat begrijpelijke terughoudendheid om af te wijken van traditionele teeltmethoden, omdat de grond kan wegspoelen wanneer deze kaal is. Er is daarom onderzoek nodig naar potentiële voedsel- en voedergewassen die een continue groene bedekking behouden. De vooruitzichten voor een aanzienlijke verhoging van de voedselproductie in de tropen blijven op korte termijn vrij slecht, maar er moet speciale nadruk worden gelegd op onderzoek,

voorlichtingsdiensten en verbeterde methoden in tropische gebieden waar de behoefte aan extra voedselproductie het meest urgent is.

De kosten voor landontwikkeling, met name in gebieden waar geïnvesteerd moet worden in uitgebreide hervestigingsfaciliteiten, irrigatie of erosiebestrijding, hebben de uitbreiding van nieuwe gebieden voor veel ontwikkelingslanden sterk beperkt.

Bovendien moeten voorstellen voor de exploitatie van nieuwe regio's zorgvuldig worden geëvalueerd, rekening houdend met de volgende factoren:

(a) Er moeten nieuwe gebieden en gemeenschappen worden ontwikkeld om nieuwe inwoners aan te trekken en hen een alternatief voor verstedelijking te bieden.
(b) De productie van grotere hoeveelheden voedsel in dunbevolkte regio's brengt enorme problemen met zich mee op het gebied van opslag, transport en distributie, waarmee vooraf rekening moet worden gehouden.
(c) dergelijke veranderingen kunnen niet snel worden doorgevoerd en moeten worden afgestemd met andere langetermijnplannen;
(d) de agrarische transformatie van uitgestrekte regio's kan aanzienlijke veranderingen teweegbrengen, met mogelijk moeilijk in te schatten gevolgen.

De voortdurende verzilting, erosie, laterisatie (proces waarbij gesteente lateriet wordt = een soort roodachtige kleigrond die ijzer en aluminium bevat), overbewerking en verharding van bodems zijn factoren die samen leiden tot een afname van de beschikbare landbouwgrond. Naar schatting hebben we de wereldwijde vegetatie al met een derde verminderd en een tiende van het ijsvrije land in woestijn veranderd. De schade die hierdoor is ontstaan is enorm, omdat het herstel van de bovengrond via de natuurlijke geologische cyclus zeer langzaam verloopt. De hoeveelheid land die door overbegrazing en overbelasting door de mens in woestijn is veranderd, is vergelijkbaar met de hoeveelheid land waarvoor irrigatie is verzekerd.

Bodembehoud is in wezen een kwestie van verstandig gebruik van hulpbronnen in overeenstemming met de ecologische omstandigheden. Bodembescherming moet worden gerealiseerd door middel van technische maatregelen en efficiënt landbeheer (meststoffen, irrigatie, mechanische bewerkingen, bodembedekking, enz.) door boeren.

Een ander aspect dat verband houdt met bodembedekking is winderosie, waardoor de hoeveelheid fijnstof in de atmosfeer toeneemt en bovenop het fijnstof komt dat al afkomstig is van industriële activiteiten in ontwikkelde landen. Een dergelijke toename zou het klimaat kunnen beïnvloeden door de hoeveelheid binnenkomende zonne-energie te verminderen.

WATER

Water is een cruciaal goed voor intensieve landbouw, voor de irrigatie van bestaande landbouwgrond en voor het gebruik van nieuwe grond die momenteel bestaat uit weideland, bos of woestijn.

Het belang van irrigatie in ontwikkelingsregio's wordt weergegeven in tabel 33. Het gemiddelde geïrrigeerde areaal bedraagt minder dan een vijfde van het totale geoogste areaal. Voor volledige irrigatie van de belangrijkste droge en halfdroge gebieden in de wereld is een waterverbruik nodig dat zo groot is dat het aanzienlijke veranderingen in het regionale klimaat kan veroorzaken. Bovendien is het onduidelijk waar zulke grote hoeveelheden water vandaan moeten komen. Als aanvulling op uitgebreide irrigatie is de teelt van gewassen die bijzonder goed geschikt zijn voor droge landbouw, zoals tarwe, sorghum en gierst, geschikt voor de halfdroge gebieden.

De huidige snelle uitputting van grondwatervoorraden kan binnenkort leiden tot wijdverspreide lokale tekorten. In feite geldt voor veel ontwikkelings-

TABLE 33

IRRIGATED AR.EA ACCORDING TO REGIONS ($10^6$ ha)

| | 1967 | 1977 | 1985 |
|---|---|---|---|
| Latin America | 9.4 | 12.9 | 14.7 |
| Africa | 1.6 | 2.2 | 2.9 |
| Near East | 15.3 | 17.5 | 19.0 |
| Asia* | 49.3 | 62.1 | 70.9 |
| Centrally planned ec.† | 54.3 | 70.2 | 112.6 |
| Developed market ec. | 29.3 | 32.9 | 36.9 |
| Total | 159.2 | 197.8 | 257.0 |
| Developed ‡ | 41.5 | 52.9 | 53.2 |
| Developing | 117.7 | 144.9 | 203.8 |
| Total | 159.2 | 197.8 | 257.0 |

* Includes Pakistan.
† Includes People's Republic of China, U.S.S.R. and East Europe.
‡ Includes the U.S.S.R., East Germany and Israel.

Source: F.A.O., *Production Yearbook* (for historic data): and *Water Resources,* Development and Management Services, F.A.O., 1975 (for 1985 estimated).

gebieden dat het waterpotentieel niet goed bekend is en is er dringend behoefte aan onderzoek naar zowel oppervlakte- als grondwatersystemen. Dit onderzoek is essentieel voor regionale planning en ontwikkeling, omdat het inzicht geeft in gebieden die geschikt zijn voor irrigatie en intensieve landbouw.

Ongeveer de helft van de bestaande irrigatiesystemen in ontwikkelingslanden werkt met een zeer laag rendement. Er moet hoge prioriteit worden gegeven aan de renovatie van deze bestaande systemen. Er wordt geschat dat het geïrrigeerde gebied met de huidige technologieën met ongeveer 50% kan worden vergroot. In sommige gebieden kunnen de kosten echter oplopen tot wel $ 3000 per hectare. Ook nieuwe technieken voor waterbeheer, zoals druppelirrigatie, verbeteren de efficiëntie van het watergebruik aanzienlijk. Deze technieken zijn echter vrij kapitaalintensief, waardoor hun toepassing sterk wordt beperkt. Over het algemeen is waterbeheer niet alleen nodig voor irrigatie, maar ook voor waterafvoer om de ernstige problemen van bodemerosie op te lossen.

In regio's waar de ontwikkeling van kapitaalintensieve technologieën niet geschikt is, is het wenselijk om meer gebruik te maken van geschikte, eenvoudige systemen voor het opvangen en opslaan van regenwater. Dergelijke technieken hebben hun nut al bewezen en zouden op grotere schaal moeten worden toegepast. Een andere mogelijkheid om de watervoorziening te vergroten is waterontzilting, maar helaas blijft dit voor grootschalige toepassing in de landbouw te kostbaar, omdat het aanzienlijke kapitaalinvesteringen en een hoog energieverbruik vereist.

Deze steeds strengere waterbeperkingen suggereren dat er hoge prioriteit moet worden gegeven aan onderzoek naar nieuwe gewassen die brak of zeewater kunnen gebruiken voor irrigatie.

Om dezelfde reden is landbouwinnovatie nodig om droge landbouw te ontwikkelen op marginale gronden met aanzienlijke klimaatschommelingen. In droge gebieden moeten koeien worden vervangen door dieren zoals de eland en de oryx, die efficiënter omgaan met water.

Alle landen hebben behoefte aan een beter beleid voor waterbeheer, zowel in kwantitatief als kwalitatief opzicht, waarbij ook aandacht moet worden besteed aan de problemen van vervuiling. Er is behoefte aan goedkope technologieën voor het behoud van schoon water en het verwijderen van ziekteverwekkers. De waterkwaliteit in veel ontwikkelingslanden voldoet niet aan de veiligheidsnormen, wat epidemiologische risico's met zich meebrengt.

MESTSTOFFEN

De opbrengsten in de landbouw zijn in belangrijke mate afhankelijk van het gebruik van meststoffen. Deze zijn voornamelijk gebaseerd op stikstof, fosfor en kalium.

Het gebruik van meststoffen is nog steeds ongelijk verdeeld over de wereld. In rijke landen is de productiviteit van landbouwgrond sterk verbeterd door het gebruik van plantenvoeding, terwijl veel ontwikkelingslanden nog maar net zijn begonnen met het toepassen van bemestingstechnieken. Slechts ongeveer 15 % van de wereldproductie van stikstof- en fosfaatmeststoffen in 1972/3 werd verbruikt in de ontwikkelingslanden, ondanks de grote behoefte daar. Momenteel is er een tekort aan meststoffen in ontwikkelingslanden. De volgende factoren dragen bij aan dit tekort: chronische cycli van over- en ondercapaciteit in de industrie; tekort aan kapitaal; toegenomen vraag naar meststoffen als gevolg van extra aanplant van hoogproductieve variëteiten en een toename van de aanplant van voedingsgranen in het algemeen; stijgingen van de energieprijzen, waardoor de kosten en prijzen van meststoffen zijn gestegen, waardoor ontwikkelingslanden minder kunnen kopen; en stijgingen van de transportkosten, met dezelfde gevolgen.

De problemen van de recente crises worden vanuit het oogpunt van de voedselproductie te gemakkelijk afgedaan als van kort- tot middellangetermijnbelang, omdat men denkt dat er in de komende jaren voldoende bemestingscapaciteit zal worden toegevoegd. Het probleem van de hoge kosten van zowel meststoffen als andere middelen die voor de landbouw worden gebruikt, is echter zowel op korte als op lange termijn een punt van grote zorg. Ontwikkelingslanden kunnen bijvoorbeeld niet hopen de voedselprijzen te verhogen om de stijging van de meststofprijzen te compenseren, aangezien de meststofprijzen veel sneller stijgen dan het inkomen van hun bevolking.

Het huidige intensieve gebruik van meststoffen, dat bijna uitsluitend in ontwikkelde landen voorkomt, brengt ernstige milieurisico's met zich mee die moeten worden aangepakt. Een van die risico's is de chemische verontreiniging van drinkwater, met name door de langetermijneffecten van nitraatophoping in het grondwater. Een ander risico, met ingrijpende gevolgen voor de biosfeer, is de eutrofiëring of overbemesting van meren, waardoor er een groot overschot aan rottende algen ontstaat, waardoor vissen zuurstof tekort komen en mensen geen vers water meer hebben.

Bij het aanpakken van deze problemen hebben onderzoekers geprobeerd alternatieven voor of verbeteringen te vinden voor anorganische meststoffen. Een alternatief is de teelt van peulvruchten zoals bonen. Deze, samen met

symbiotische bacteriën, kunnen stikstof rechtstreeks uit de lucht vastleggen, waardoor er zelfs na de oogst nog aanzienlijke hoeveelheden stikstof in de bodem achterblijven. De peulvruchten kunnen worden afgewisseld met andere gewassen om de behoefte aan stikstofhoudende meststoffen te verminderen. Er lijkt ook een mogelijkheid te bestaan om andere soorten dan peulvruchten te kweken die stikstof kunnen binden; dit wordt uitgebreider besproken onder 'stikstof' hieronder.

Een ander gedeeltelijk alternatief is het gebruik van organische mest, die qua voedingsstoffen naar schatting 7 tot 8 keer rijker is dan alle anorganische meststoffen die in 1970/1971 in ontwikkelingslanden werden gebruikt. Organische meststoffen leveren dezelfde voedingsstoffen (stikstof, fosfor en kalium) als anorganische meststoffen. Bovendien verbeteren ze de bodemstructuur door het vermogen om water en voedingsstoffen vast te houden en ook de wortels beter te beluchten. Bodem met weinig of geen humus kan minder dan 50 % opleveren dan bodem met voldoende humus, zelfs als op beide bodemsoorten meststoffen worden gebruikt. Helaas is er meestal niet voldoende organische mest beschikbaar om volledig in de behoefte aan stikstof, fosfor en kalium te voorzien. Het lijdt echter geen twijfel dat organische meststoffen onderbenut zijn, ook al zijn ze ontoereikend om in de totale behoefte te voorzien. Bovendien is gedroogde dierlijke mest in veel tropische landen een belangrijke brandstof voor huishoudelijk gebruik. De laatste tijd is er in Azië echter veel vooruitgang geboekt bij het omzetten van dierlijk afval in biogas, dat brandstof oplevert en tegelijkertijd een uitstekende meststof is. Dergelijke ontwikkelingen moeten dringend worden aangemoedigd, zowel wat betreft uitbreiding als verbetering. Het sociale, economische en technische onderzoek dat nodig is om het gebruik van afvalstoffen te vergroten, moet worden aangemoedigd. Menselijk afval en rioolwater kunnen ook worden gebruikt, mits de problemen van besmettelijke ziekten worden opgelost.

Het probleem van vervuiling kan worden verminderd door het gebruik van meststoffen met langzame afgifte of door geavanceerdere toedieningstechnieken. Het principe is in beide gevallen hetzelfde: alleen de hoeveelheid beschikbaar stellen die de plant tijdens zijn groei nodig heeft. Hierdoor blijft er weinig van het oplosbare overschot over dat vervuiling veroorzaakt.

Hoewel er nu meststoffen met langzame afgifte beschikbaar zijn, zijn deze te duur voor grootschalig gebruik. Geavanceerdere toedieningstechnieken zoals gesplitste toepassing (twee of meer bemestingen, met een tussenpoos van een paar weken, in plaats van verschillende stoffen tegelijk) of toepassing per plant vereisen een aanzienlijke educatieve inspanning. Er is meer onderzoek nodig om meststoffen en de toepassing ervan aan te passen aan de ecologische omstandigheden in ontwikkelingslanden.

De productie van meststoffen zal ongetwijfeld aanzienlijk toenemen om aan de behoeften van de landbouwuitbreiding te voldoen. Deze groei zal waarschijnlijk problemen opleveren voor het onderzoek naar de beschikbaarheid van grondstoffen voor de productie van meststoffen. Hier varieert het probleem aanzienlijk naargelang het gaat om een van de drie belangrijkste elementen: fosfor, stikstof of kalium.

## FOSFOR

Fosfor, een relatief overvloedig element, vormt 0,12% van de lithosfeer (zie Fig. 34). Strikt genomen zal het nog vele jaren niet schaars zijn. Het verdient echter wel aandacht, omdat het niet hernieuwbaar is als meststof. (zie Fig. 45). Deze toepassing is onvervangbaar, verspillend en absoluut essentieel voor het leven. Daarom kan het op de lange termijn een beperkende factor worden voor de landbouwproductie. Fosforreserves zijn groot, maar zeker niet onbeperkt. Helaas bestaat er verwarring en tegenstrijdigheid in de gegevens, zowel over de schattingen van de reserves als over de overdracht van fosfor van het land naar de oceaan. De beschikbare voorspellingen voor de levensduur van fosformineralen variëren van een eeuw tot duizend jaar. Het lijkt daarom dringend noodzakelijk om nauwkeurig vast

FOSFOR

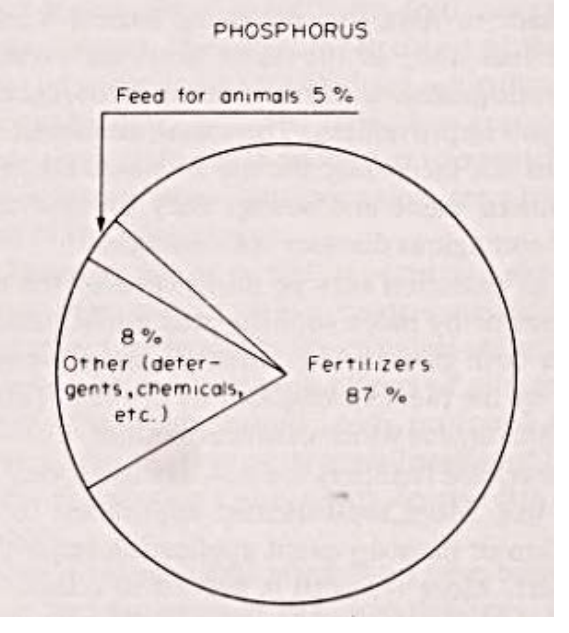



Fig. 45. Percentage distribution of consumption of phosphorus (World, 1974).

te stellen wat de reserves en de bronnen van fosfor zijn.

Er bestaat enige hoop in mariene fosforietknollen, waarvan de afzettingen zeer groot zijn en wijdverspreid voorkomen in de oceanen over de hele wereld. Verkenningswerk zou zich moeten richten op de zoektocht naar deze afzettingen als een mogelijke grondstof voor de lange termijn.

Een ander belangrijk onderzoeks- en ontwikkelingsprobleem betreft de directe toepassing van laagwaardig fosfaatgesteente als meststof. Deze techniek zou leiden tot een vermindering van de bodemuitspoeling in tropische gebieden en de kosten van het transport van erts besparen.

Onderzoek gericht op het verminderen van het fosforverbruik is van groot belang. Momenteel neemt het fosforgebruik toe met ongeveer 2,7 keer het tempo van de bevolkingsgroei. Fosforvervangers voor niet-agrarische producten, met name wasmiddelen, zijn geïdentificeerd en de toepassing ervan wordt onderzocht. Hun marktaandeel hangt uiteindelijk af van de prijs van het vervangende product en van het nationale beleid inzake hulpbronnen.

## STIKSTOF

De landbouw is in grote mate afhankelijk van industriële stikstof-meststoffen. Zelfs als er geen fysieke limiet is aan de beschikbaarheid van atmosferische stikstof, lijkt het erop dat dit element eerder een beperkende factor voor de landbouw zou kunnen worden dan fosfor. De bodem heeft een tekort aan stikstof omdat deze het niet lang kan opslaan, maar in de meeste bodems is ten minste nog wel wat fosfaat aanwezig. Ontwikkelingslanden zijn met name sterk afhankelijk van de beschikbaarheid van stikstof voor hun productie. Industriële fixatie van stikstof, voornamelijk in de vorm van ammoniak, vereist aanzienlijke hoeveelheden energie ( ~9000 kcal/kg). Gezien de hoge energieprijzen verergert dit de voedselsituatie in ontwikkelingslanden. De mogelijkheid om de kosten van industriële processen voor ammoniak verder te verlagen lijkt klein, aangezien er al aanzienlijke inspanningen op het gebied van onderzoek en ontwikkeling zijn geleverd om deze processen te optimaliseren.

De toenemende vraag naar dure stikstofmeststoffen heeft de interesse gewekt in micro-organismen die de wortels van planten binnendringen, waar ze stikstof uit de lucht binden en zo de behoefte aan stikstof uit de bodem overbodig maken. Peulvruchten zoals sojabonen, erwten en klaver kunnen stikstof binden door middel van een symbiose in hun wortels met bacteriën van het geslacht Rhizobium. Het is aangetoond

dat het mogelijk is om het stikstofbindend vermogen van peulvruchten te verbeteren door ze te enten met efficiëntere micro-organismen. In principe is het ook mogelijk om stikstofbindende bacteriën te koppelen aan niet-peulvruchten, zoals granen: voorlopige resultaten in vele laboratoria wereldwijd zijn bemoedigend en wijzen erop dat deze onderzoeksrichting op middellange termijn veelbelovend kan zijn. Microbiële stikstofbinding bij rijst is waargenomen en er zijn aanwijzingen dat hetzelfde mogelijk is bij maïs.

Gezien deze recente ontwikkelingen zou dit onderzoeksgebied intensiever bevorderd en internationaal gecoördineerd moeten worden. Een verdere optie voor de langere termijn, gebaseerd op genetische manipulatie, wordt momenteel onderzocht: de introductie van het stikstofbindende gen zelf, afkomstig van stikstofbindende bacteriën, in plantencellen. Het bereiken van dit fascinerende doel zou van enorm belang zijn, maar het onderzoek staat nog in de kinderschoenen.

## KALIUM

Momenteel zijn er voldoende voorraden oplosbare kaliumzouten die kunnen worden gewonnen. Wanneer deze bron uitgeput raakt, is het technisch haalbaar om kalium uit zeewater te winnen en, mits er voldoende energie beschikbaar is, ook uit klei en gesteente.

## ONGEDIERTE- EN ONKRUIDBESTRIJDING

Hoewel het lastig is om de oogstverliezen in te schatten, wordt geschat dat, als wereldwijde bestrijding van plagen mogelijk zou zijn, de voedselvoorraad met 30 tot 40 procent zou toenemen, met slechts een bescheiden stijging van de kosten.

Een belangrijk aandachtspunt en onderwerp van toekomstig onderzoek is het gebruik van pesticiden. Gerelateerde problemen zijn onder andere de giftige residuen van pesticiden die ontstaan door directe consumptie en accumulatie in de voedselketen; de gevaren voor werknemers en gebruikers en de toxiciteit voor vee en wilde dieren; de ontwikkeling van insectenresistentie tegen de meeste chemicaliën; en de secundaire uitbraak van nieuwe plagen.
Als reactie op deze problemen is een van de onderzoekslijnen het ontwikkelen van niet-giftige en biologisch afbreekbare pesticiden. Er is echter een meer algemene oplossing in ontwikkeling. Dit wordt "geïntegreerde plaagbestrijding" genoemd en kan worden gedefinieerd als plaagbeheer dat biologische, chemische, gewasmanipulatie- en plaagmonitoringstechnieken combineert (of integreert).

Biologische bestrijding houdt in dat organismen, zoals roofdieren, parasieten of ziekteverwekkers, worden geïntroduceerd om de bestrijding van een plaagsoort te vergemakkelijken. Voorbeelden van dergelijke organismen zijn: natuurlijke vijanden van een bepaalde plaag, gesteriliseerde mannelijke insecten die de eitjes van de vrouwtjes onvruchtbaar maken, of een bacterie zoals *Bacillus thuringiensi*s die rupsen infecteert. Biologische bestrijding van plagen wordt tegenwoordig steeds meer erkend als een nuttige aanvulling op chemische bestrijding. De twee benaderingen krijgen echter niet dezelfde prioriteit. Er wordt ongeveer tien keer zoveel geld besteed aan onderzoek naar pesticiden als aan de toepassing en het onderzoek naar biologische bestrijding. Er zijn verschillende redenen voor deze ongelijkheid, afgezien van het feit dat de chemische industrie, die voornamelijk op onderzoek is gebaseerd, over de middelen en stimulansen beschikt die geschikt zijn voor de ontwikkeling van pesticiden. De resultaten van biologische bestrijding kunnen jaren op zich laten wachten, terwijl insecticiden onmiddellijk werken. Biologische bestrijding moet op een hele regio worden toegepast in plaats van slechts op één boerderij en wordt daardoor een taak voor de overheid in plaats van de particuliere sector.

Ongetwijfeld zou er meer onderzoek moeten worden gedaan naar biologische bestrijding, omdat dit de problemen van toxiciteit en genetische aanpassing kan wegnemen. We moeten meer leren over effectieve toepassingsmethoden en over welke soorten wel of niet biologisch bestreden kunnen worden.

Gewasmanipulatie omvat vruchtwisseling en andere methoden die de ophoping van ongedierte minimaliseren door de anderszins continue voedselvoorziening van het ongedierte te onderbreken. Op dezelfde manier wordt na de oogst sanering (opruimen) van rest-gewassen toegepast om een periode zonder parasieten te garanderen.

Er moet verder onderzoek worden gedaan naar de economische en educatieve problemen die gepaard gaan met het toepassen van gewasmanipulatie.

Plantpathologen en plantenveredelaars proberen al jaren nieuwe variëteiten te ontwikkelen die resistent zijn tegen plantenplagen. Deze aanpak heeft echter geen permanente oplossing geboden, omdat er steeds weer ziekteverwekkers beschikbaar kwamen die nieuwe stammen produceerden die de resistente variëteit konden aantasten. Zo'n cyclus heeft zich ook voorgedaan bij tarweroest. Er ontwikkelt zich een nieuw concept, genaamd "horizontale" resistentie van een gewas. Deze veredeling moet voorkomen dat de ziekteverwekker nieuwe pathogene rassen produceert. De horizontaal resistente variëteit wordt verkregen door kruisbestuiving tussen *populaties* om genetische heterogeniteit en uiteindelijk resistentie tegen alle rassen te verkrijgen. Dit onderwerp moet

een hoge onderzoeksprioriteit krijgen, vooral voor ontwikkelingsgebieden waar niet vaak kan worden overgeschakeld op nieuwe zaadvariëteiten of waar het gebruik van dure chemicaliën niet mogelijk is. Er is nu onderzoek gestart naar de ontwikkeling van horizontale resistentie tegen diverse plantenziekten en naar de uitbreiding van dit concept naar insectenresistentie.

Voor effectieve plaagbestrijding hebben we meer informatie nodig dan wat we verkrijgen door gewassen direct te observeren. Voor een gedetailleerder onderzoek kunnen veel plagen in vallen worden gelokt door licht 's nachts, door voedselaas en door chemische lokstoffen. Met deze bemonsteringsmethoden kan hun populatie over grote gebieden worden vastgesteld en de toekomstige groei worden voorspeld. Onderzoek is nodig voor het ontwerpen en beheren van dergelijke plaagbewakingssystemen.

Chemische bestrijdingsmethoden mogen alleen worden gebruikt wanneer andere methoden niet beschikbaar of ontoereikend zijn en wanneer er sprake is van een economisch schadelijk niveau (de laagste dichtheid van de plaagpopulatie die de kosten van bestrijding met pesticiden rechtvaardigt). Het onderzoek naar de economische schadedrempels moet worden voortgezet, aangezien er talrijke gevallen zijn van onder- en overschattingen.

! De gebruikte chemische producten moeten niet-persistent zijn, zodat ze zich niet ophopen in voedselketens, en moeten zorgvuldig worden geselecteerd om veilig te zijn voor mens, nuttige organismen en dieren in het wild. Tot de stoffen die aan deze eigenschappen voldoen behoren sekslokstoffen (synthetische seksferomonen van insecten), nabootsers van insectenhormonen (met name juveniele hormonen), afweermiddelen, chemische sterilisatiemiddelen en, in het algemeen, chemicaliën waarvan het toxische effect gebaseerd is op de verstoring van biochemische en enzymatische processen die het meest specifiek zijn voor het plaagorganisme.

Het is duidelijk dat geïntegreerde plaagbestrijding een complexe en moeilijke taak is die aanzienlijke coördinatie- en managementvaardigheden vereist. Beleids-, economisch en organisatorisch onderzoek gericht op de implementatie van bovenstaande methoden is duidelijk aan te raden. Een groot deel van het onderzoek en de implementatie moet worden uitgevoerd door regionale, nationale of internationale organisaties vanwege de geografische omvang en de coördinatie die voor het werk vereist is.

Enigszins vergelijkbare overwegingen gelden voor het gebruik van onkruidverdelgers en herbiciden. In de meeste ontwikkelingslanden is er een overvloed aan arbeidskrachten en daarom verdienen handmatige methoden de voorkeur, vooral in combinatie met eenvoudige mechanische apparaten die momenteel in ontwikkeling zijn

op veel plaatsen. Aan de andere kant kan het gebruik van goedkope chemische onkruidverdelgers in sommige gevallen gerechtvaardigd zijn, zoals bij rijst, waar de concurrentie met onkruid gedurende de cruciale weken na de kieming van groot belang is en handmatig wieden moeilijk is.

## VOEDSEL EN ENERGIE

Voedsel- en energieproblemen zijn nauw met elkaar verbonden, aangezien de industriële landbouw sterk en in toenemende mate afhankelijk is van energie-intensieve producten en diensten, waaronder meststoffen, pesticiden en irrigatie.

Tabel 34. ENERGIEVERBRUIK IN DE VS VOOR HET VOEDINGSSYSTEEM
(Percentage van Totale Energie Verbruik), Jaar 1970

| | |
|---|---|
| **On the Farm:** | |
| Fuel | 1.4 |
| Electricity | 0.4 |
| Fertilizer | 0.5 |
| Machinery | 0.5 |
| Tractors | 0.1 |
| Irrigation | 0.2 |
| Total | 3.1 |
| **Food Processing, Packaging and Transport** | |
| Food processing | 1.8 |
| Machinery | 0.0 |
| Paper packaging | 0.2 |
| Glass containers | 0.3 |
| Steel and aluminium | 0.7 |
| Fuel for transport | 1.5 |
| Manufacture of trucks and trailers | 0.5 |
| Total | 5.0 |
| **Refrigeration and Cooking** | |
| Commercial refrigeration and cooking | 1.5 |
| Refrigeration machinery | 0.4 |
| Home refrigeration and cooking | 2.8 |
| Total | 4.7 |
| Grand total | 12.8 |

Source: F.A.O., *Energy for World Agriculture*, Rome, 1979, pp. 68, 70.

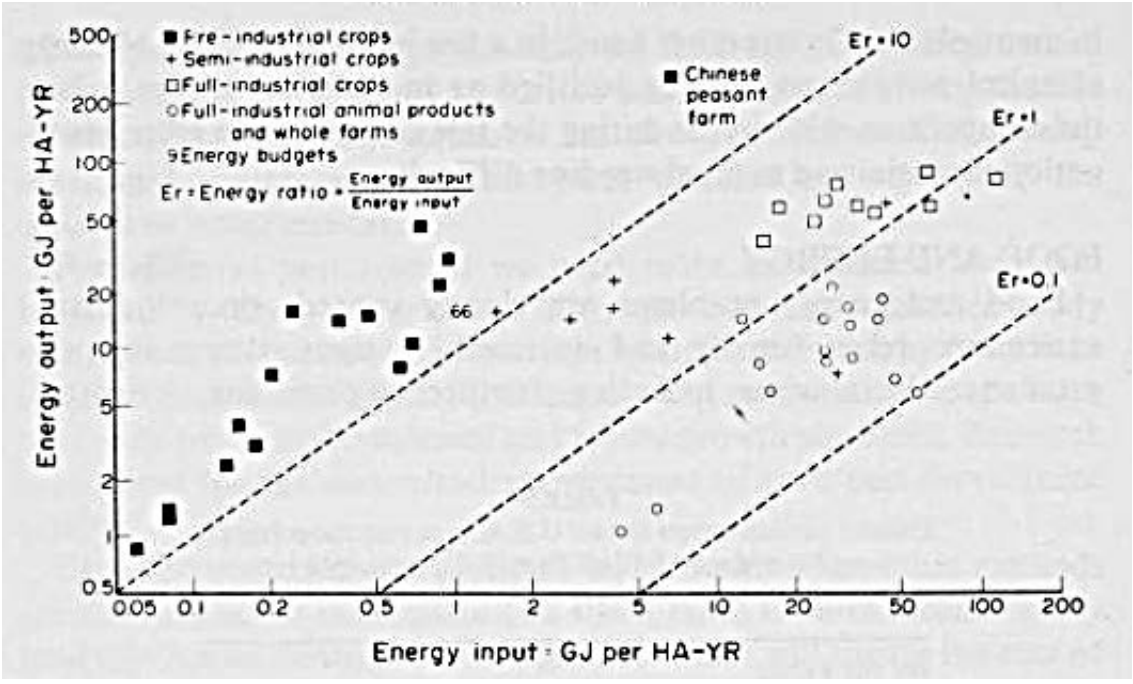



Fig. 46. Energie-input en -output per eenheid landoppervlak in de voedselproductie wereldwijd.

machines en transport. Een van de belangrijkste grondstoffen, ammoniak voor kunstmest, vereist bijvoorbeeld ongeveer evenveel energie als staal. In geïndustrialiseerde landen is echter veel meer energie nodig voor de verwerking, bereiding, verpakking, transport, distributie, opslag en bereiding van voedsel dan voor de landbouwproductie ervan, zoals blijkt uit Tabel 34.

Volgens een recente schatting van Hirst* gaat minstens 12% van de energie in de Verenigde Staten naar de gehele voedselketen, van landbouwondersteuning tot voedseldistributie en -consumptie.

Leach ** heeft recentelijk onderzoek gedaan naar de energie-input en -output voor verschillende landbouw- en gewassystemen. Figuur 46 toont (op een logaritmische schaal) de energie-input en -output per oppervlakte-eenheid in de voedselproductie voor drie typen voedselproductie: *volledig industriële* systemen, waarbij menselijke en dierlijke arbeid minder dan 5% van de energie-input levert; semi-industriële systemen die 5 tot 90% van de

---

• Eric Hirst, *Energy Use for Food in the United States,* Oak Ridge National Laboratory, National Science Foundation, Report: ORNL-NSF-EP-57.

** Gerard Leach, Report *Energy and Food Production,* International Institute for Environment and Development, 27 Mortimer Street, London, June 1975.

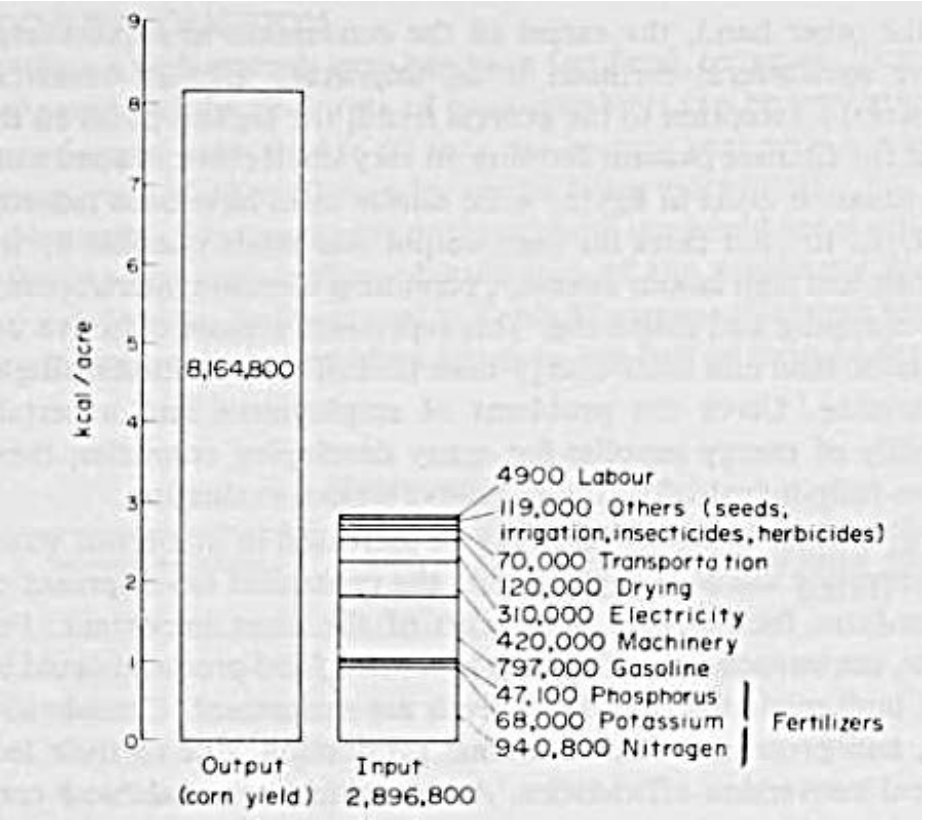



Fig. 47, Energie-input en -output bij de maïsteelt in de moderne landbouw. (U.S.A., 1970), (Based on data from: *Science*, Nov. 2, 1973, p. 445.)

energie-input leveren in termen van menselijke en dierlijke arbeid; en een *pre-industrieel* systeem waar meer dan 90% van de energie-input bestaat uit menselijke en dierlijke energie. De gedetailleerde input en output voor een typisch gewas of een industrieel landbouwsysteem, maïs in de Verenigde Staten, wordt weergegeven in Fig. 47.

Wat betreft energieverhoudingen (constante verhoudingen worden weergegeven door diagonale lijnen in figuur 46) is er sprake van afnemende meeropbrengsten naarmate men overgaat van pre-industriële naar volledig industriële systemen. De energieproductie neemt echter toe met toenemende input, en in een wereld met ondervoeding is de productie de belangrijkste zorg. Bovendien wijzen de responscurves van de meeste landbouwbedrijven in ontwikkelingslanden steil omhoog, waardoor zelfs een kleine hoeveelheid kunstmest of mechanisatie meer voedsel oplevert dan in ontwikkelde gebieden waar de responscurves zijn afgevlakt. We mogen daarom verwachten dat er in ontwikkelingslanden een tendens zal zijn om over te schakelen naar energie-intensievere systemen.

Aan de andere kant is de mate van omschakeling naar energie-intensievere landbouwmethoden een belangrijk onderzoeksgebied. Een opmerkelijke uitzondering op de algemene trend, het hoogste punt in de grafiek, is de Chinese boerenlandbouw op zeer kleine percelen. Een vergelijkbare situatie bestaat in Egypte, en soortgelijke gevallen zijn ook in het Verenigd Koninkrijk gemeld. In dergelijke gevallen werd de hoge opbrengst mogelijk gemaakt door de kleinschaligheid en de hoge arbeidsintensiteit, waardoor intensieve tussenteelt, dubbele teelt en bemesting mogelijk waren. Dit is een efficiënter gebruik van de beschikbare grond en zonne-energie dan de traditionele monocultuur. Gezien de werkgelegenheidsproblemen en de onzekere beschikbaarheid van energie in veel ontwikkelingslanden, verdienen deze minder industriële methoden een serieuze evaluatie.

Energiebesparing in de landbouw kan op tal van manieren worden bevorderd, waarbij het juiste gebruik van arbeidskrachten en de gecontroleerde ontwikkeling van het voedselsysteem na de landbouw twee van de belangrijkste zijn. Zo zou de introductie van bepaalde bewerkte voedingsproducten kunnen worden uitgesteld totdat aan minimale voedingsnormen is voldaan. Bij de veeteelt gaat aanzienlijk veel energie en eiwit verloren door de lage biologische omzettingsrendementen. Een vermindering van de consumptie van diervoeder zou aanzienlijke besparingen opleveren en bovendien meer graan vrijmaken voor directe menselijke consumptie. Op de boerderij kan energie worden bespaard door intensiever gebruik te maken van dierlijke mest, door stikstofbindende peulvruchten te planten en door andere organische materialen te gebruiken als groenbemesting of brandstof. Stro kan bijvoorbeeld worden verbrand en gebruikt voor het drogen van graan of kan worden samengeperst tot briketten die als brandstof worden verkocht.

Methaan kan worden geproduceerd uit dierlijke mest en gewasresten door anaerobe fermentatie, hoewel de momenteel hoge investeringskosten een ernstig nadeel vormen. Een bijkomend voordeel is dat de methaanproductie weinig voedingsstoffen aan de mest onttrekt, die vervolgens weer aan de bodem kunnen worden teruggegeven.

Daarom moet een zorgvuldige afweging worden gemaakt van de voordelen, kosten en risico's van energie-intensieve landbouw, voedselverwerking en -distributie, om er zeker van te zijn dat een dergelijke ontwikkeling de toch al ernstige wereldwijde voedsel- en energiesituatie niet verder zal verslechteren.

VOEDSEL PRODUCTIE

Wanneer een snelgroeiend gewas bemest, geïrrigeerd, belicht en beschermd is, kan de piek van de fotosynthese zeer hoog zijn. De recordopbrengst van suikerriet bedraagt 80 ton per hectare per jaar, terwijl een maximale jaarlijkse opbrengst van 30 tot 40 ton droge stof gebruikelijker is.

De gemiddelde opbrengsten wereldwijd liggen vanzelfsprekend veel lager, wat de ongelijke verdeling van de eerder besproken beperkende factoren weerspiegelt. Zoals tabel 35 laat zien, zijn de gemiddelde opbrengsten per hectare in ontwikkelingslanden vaak minder dan de helft van die in ontwikkelde landen.

Tabel 35
OPBRENGSTEN VAN TARWE EN RIJST, in **kg/ha**. 1971

| Selected countries | Wheat yields (kg/ha) | Rice paddy yields (kg/ha) |
|---|---|---|
| Nigeria | 1556 | 1758 |
| Mexico | 3483 | 3286 |
| USA | 2128 | 5049 |
| Argentina | 1712 | 3263 |
| Brazil | 886 | 1304 |
| Bangladesh | 1698 | 1890 |
| India | 1477 | 1975 |
| China | 1397 | 3534 |
| Italy | 2513 | 4998 |
| Australia | 1794 | 5402 |
| Africa | 903 | 1351 |
| N.C. America | 2117 | 4036 |
| Asia | 1408 | 2636 |
| Europe | 3603 | 4524 |
| Oceania | 1812 | 4979 |
| U.S.S.R. | 1920 | 3621 |
| Developed countries | 2268 | 5472 |
| Developing countries | 1396 | 2494 |
| Centrally planned countries | 1896 | 3332 |
| World | 1902 | 2594 |

Source: F.A.O., *Production Yearbook*, 1978.

Tabel 36 VOEDSELPRODUCTIE PER HOOFD VAN DE BEVOLKING (INDEXCIJFERS)

| Region | 1961-1965 (Index average) | 1964 | 1974 | 1978 |
|---|---|---|---|---|
| World | 100 | 101 | 107 | 111 |
| Developed countries | 100 | 101 | 115 | 123 |
| North America | 100 | 101 | 110 | 124 |
| Western Europe | 100 | 101 | 120 | 124 |
| Oceania | 100 | 106 | 113 | 135 |
| Other developed countries | 100 | 102 | 118 | 117 |
| Developing countries | 100 | 101 | 99 | 103 |
| Africa | 100 | 101 | 96 | 91 |
| Latin America | 100 | 100 | 99 | 102 |
| Near East | 100 | 101 | 105 | 107 |
| Far East | 100 | 102 | 97 | 104 |
| Other developing countries | 100 | 104 | 94 | 93 |
| Centrally planned countries | 100 | 103 | 119 | 123 |
| Asian | 100 | 102 | 109 | 113 |
| Europe + U.S.S.R. | 100 | 104 | 132 | 140 |

Source: F.A.O., *Production Yearbook*, 1975 and 1978.

Klimatologische en bodemfactoren zijn vaak nadelig voor ontwikkelingslanden die een groter oppervlak in tropische zones hebben. Bovendien zijn essentiële grondstoffen zoals meststoffen vaak onvoldoende beschikbaar. Dit is duidelijk niet optimaal, aangezien de opbrengst van een extra ton meststoffen in ontwikkelingslanden veel groter is dan in ontwikkelde landen. De marginale winst is hoger vanwege de grotere respons op de initiële meststoffenproductie.

Over het algemeen hebben landen met een hoge mate van economische ontwikkeling, beschikbaar kapitaal en technologische vooruitgang hun voedselproductie de afgelopen decennia sterk verhoogd. Het is dan ook niet verrassend dat in ontwikkelingslanden, die gekenmerkt worden door de tegenovergestelde economische trends, de productie per hoofd van de bevolking nauwelijks is gestegen, zoals blijkt uit tabel 36. Er zijn echter twee belangrijke uitzonderingen op deze trend in ontwikkelingslanden: (1) de export- en industriële gewassen en (2) de "Groene Revolutie". Industriële en exportgewassen, zoals rubber, hennep, katoen, thee, koffie en tropisch fruit, hebben geprofiteerd van veel onderzoek en technologische vooruitgang. Traditioneel

werden deze gewassen verbouwd op grote plantages waar meer financiële middelen beschikbaar waren en waar innovaties gemakkelijker op grotere schaal konden worden doorgevoerd. De teelt van deze niet-voedselgewassen is alleen te rechtvaardigen als de prijs van deze gewassen voldoende is om een gelijkwaardige hoeveelheid voedsel te kopen, verbouwd op hetzelfde oppervlak, en mits de opbrengst eerlijk wordt verdeeld. De andere uitzondering, de "Groene Revolutie" en de bijbehorende technologische aanpassingen, zal naar verwachting de armen en ondervoeden directer ten goede komen.

## DE GROENE REVOLUTIE

De "Groene Revolutie" is een ongelukkig gekozen label dat de geringe waardering voor ecologische beperkingen en de complexe sociaaleconomische problemen die inherent zijn aan de introductie van nieuwe technologie illustreert. Het verwijst in feite naar het gebruik van hoogresponsieve graanvariëteiten (HRV) in ontwikkelingslanden. Het is gebaseerd op een technologisch pakket dat, mits onder de juiste omstandigheden toegepast, leidt tot een aanzienlijke opbrengstverhoging, ter vervanging van de eerdere, fragmentarische aanpak die slechts marginale winst opleverde. Het basispakket bestaat uit HRV van tarwe, rijst, maïs of bepaalde gierstsoorten, ruim gebruik van meststoffen en bestrijdingsmiddelen, en geïrrigeerde grond. Het moet worden voorafgegaan door veldproeven en worden uitgevoerd met behulp van de juiste teeltmethoden.

Waar boeren een compleet pakket aan steun ontvingen, inclusief prijssteunmaatregelen, leidde dit tot een snelle toename van de productie van deze gewassen. In India bijvoorbeeld werd in 1970 een derde van het tarwe-areaal beplant met HRV en in 1971 was de tarweproductie verdubbeld ten opzichte van 1967. De gemiddelde tarweopbrengst steeg met 40%. In Pakistan nam de tarweproductie in dezelfde periode met 60% toe. In 1970/1 was er in ontwikkelingslanden meer dan 20 miljoen hectare beplant met HRV-gras. Driekwart van dit beplante areaal was echter geconcentreerd in drie landen: India, Pakistan en de Filipijnen. Het gemiddelde aandeel HRV-gras in het totale gewasareaal bedroeg in deze landen minder dan 40%.

De vraag naar de beschikbaarheid en de beperkingen van HRV-technologie is cruciaal, aangezien nieuwe landbouwgrond beperkt is en in sommige landen al bijna volledig benut wordt. Onder deze omstandigheden zullen toekomstige productiestijgingen grotendeels het resultaat moeten zijn van hogere opbrengsten en een intensievere teelt.

De beperkingen van de huidige HRV (hoog-responsieve-graan-variëteiten)-technologie zijn:

1. tot nu toe is het voornamelijk beperkt gebleven tot drie graangewassen: tarwe, rijst en maïs;
2. het is beperkt tot de meer gunstige milieugebieden die vrij zijn van ernstige droogte, kou en overstromingen; en
3. Het is afhankelijk van dure en energie-intensieve input, in de vorm van meststoffen, bestrijdingsmiddelen, irrigatie en bepaalde mechanische apparatuur.

Het is noodzakelijk om het aanpassingsvermogen en de stabiliteit van deze gewassen te verbeteren en HRV uit te breiden naar andere gewassen. Vanuit sociaaleconomisch oogpunt was de moeilijkste stap om de boeren te voorzien van de nodige inputs en ondersteunende diensten (opslag, transport, dors- en droogapparatuur). Hoewel de hoog-productieve rassen technisch gezien schaalneutraal zijn, bevoordelen de hoge kosten van kunstmest en irrigatie grotere landeigenaren met betere toegang tot kapitaal, tenzij er specifieke programma's worden ontwikkeld om kleine boeren of coöperaties voldoende krediet en toegang tot deze middelen te bieden. We hebben daarom structurele veranderingen nodig die een diepgaande invloed kunnen hebben op de sociaaleconomische ontwikkeling van de betrokken landen. Door de wijdverspreide introductie van nieuwe gewassen bestaat het gevaar dat de lokale genetische diversiteit afneemt. Voortdurende inspanningen zijn nodig om de genetische voorraad van deze lokale gewassen in stand te houden. Er is ook een potentieel ecologisch probleem. Het massale gebruik van meststoffen en pesticiden, dat momenteel bijna uitsluitend in ontwikkelde landen voorkomt, zal, indien op dezelfde manier en op dezelfde schaal gebruikt, nadelige gevolgen hebben voor de bestaande ecosystemen.

Hoewel het gebruik van HRV nog steeds een groot potentieel heeft, moeten productiebeslissingen worden genomen op basis van de bovengenoemde beperkingen. In sommige gevallen impliceert dit een tussenliggende technologie. In Sri Lanka bijvoorbeeld werden, in plaats van kant-en-klare HRV-variëteiten te gebruiken, lokale variëteiten die al voldoende tolerant waren voor het milieu en acceptabel voor de consument, gekruist met HRV. Deze verbeterde lokale variëteiten werden vervolgens op grote schaal door alle soorten boeren gebruikt en vereisten minder technische kennis, minder input, lagere kosten en minder risico. Hoewel de opbrengsten van deze technologie aanzienlijk lager liggen dan die van de HRV, kan het feit dat ze op grotere schaal kunnen worden ingezet ervoor zorgen dat ze op de

korte tot middellange termijn een grotere impact hebben dan de HRV. Bovendien zal deze gelijkmatiger verdeelde productie leiden tot een betere voeding en meer werkgelegenheid.

Ook de sociale omstandigheden die samenhangen met de Groene Revolutie zijn belangrijk. De nieuwe benadering van efficiëntie vereist grootschalige mechanisatie en leidt daardoor vaak tot een afname van de werkgelegenheid, terwijl de opbrengsten toenemen in gebieden waar werkloosheid en onderwerkgelegenheid veel voorkomen. Dit stimuleert migratie naar de toch al overvolle steden.

## 4.3. Landbouwproducten

PLANTEN

Er zijn vier basiscategorieën voedingsgewassen, zoals weergegeven in tabel 37 *Granen* (tarwe, maïs, rijst, sorghum en gierst) vormen in de meeste ontwikkelingslanden de belangrijkste voedingscomponenten en leveren bijna de helft van de eiwit- en energie-inname. *Peulvruchten* (soja, bonen, linzen, erwten, aardnoten) zijn belangrijk vanwege hun relatief hoge eiwitgehalte (20-30 % op basis van droge stof, vergeleken met bijna 10 % voor granen). *Tropische wortels en knollen* (cassave, yams en cocoyams) vormen een primaire energiebron voor ongeveer 500 miljoen mensen. *Groene groenten en fruit* spelen een kleine maar belangrijke rol vanuit voedingsoogpunt.

In het algemeen moet het onderzoek naar granen en andere belangrijke voedingsgewassen die in ontwikkelingslanden worden geteeld, gericht zijn op

Tabel 37. VOEDSELGEWASSENPRODUCTIE IN 1978 ($10^6$ tons)

| | Oilseeds[1] | Cereals | Roots and tubers | Vegetables and melons | Fruit and berries | Sugar centrifugal and non-centrifugal | Pulses (legumes) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| World | 136 | 1581 | 523 | 327 | 262 | 105 | 62 |
| Developed market countries | 61 | 538 | 80 | 93 | 95 | 26 | 3 |
| Developing market countries | 41 | 449 | 185 | 113 | 133 | 60 | 25 |
| Centrally planned countries | 34 | 594 | 258 | 121 | 34 | 19 | 34 |

[1] Soy beans, groundnuts, sunflower, cottonseed.
Source: F.A.O., *Production Yearbook*, 1978.

toenemende productie onder de beperkingen van (1) steeds zwaardere milieuomstandigheden wat betreft klimaat, land en water, en

(2) stijgende kosten van belangrijke inputs zoals meststoffen en energie.

De huidige lokale rassen, die beter bestand zijn tegen en toleranter zijn voor hun omgevingsomstandigheden, kunnen bijvoorbeeld worden gekruist met hoogproductieve rassen om een maximale productie over een groot gebied te behalen; in tegenstelling tot het gebruik van uitsluitend hoogproductieve rassen die alleen onder zeer gunstige omstandigheden een maximale opbrengst leveren. Daarnaast is meer kennis nodig over de mechanismen van winterhardheid, droogtetolerantie en vochtstress. De mogelijkheid van droge landbouw, teelt met minder water, verdient een hoge prioriteit in onderzoek en ontwikkeling. Om het probleem van de stijgende kosten van productiemiddelen aan te pakken, moet meer onderzoek worden gedaan naar: het verhogen van de biologische efficiëntie (bijvoorbeeld de efficiëntie van nutriëntenopname en fotosynthese); het gebruik van alternatieve productiemiddelen, zoals organische mest of de introductie van microben die stikstofbinding mogelijk maken; en het inzetten van mens- en dierkracht in plaats van mechanisatie.

GRANEN

Meer dan de helft van de graangewassen bestaat uit tarwe en rijst, die voornamelijk door mensen worden gegeten. Granen leveren ongeveer de helft van de eiwitten in goed gevoede landen en meer dan de helft in slecht gevoede landen. De andere graansoorten zijn belangrijker als veevoer. De consumptie van rijst en tarwe is in armere landen erg gevoelig voor inkomensstijgingen, en ondanks de toename van de tarwe- en rijstproductie heeft de graanproductie nauwelijks gelijke tred gehouden met de bevolkingsgroei.

Granen zullen naar verwachting tot 1990 de belangrijkste grondstoffengroep in de ontwikkelingslanden blijven, zoals blijkt uit tabel 38, die is gebaseerd op de veronderstelling dat er geen substantiële veranderingen in de productietechnieken zullen plaatsvinden, dat de voederconversie licht zal verbeteren en dat de prijsverhouding tussen de veevoedersector en de veeteeltsector ongewijzigd zal blijven. Men kan zien dat de hoeveelheid graan die in ontwikkelde landen als veevoeder wordt verbruikt, groter is en zal blijven dan de hoeveelheid graan die door mensen in ontwikkelingslanden met een markteconomie wordt gegeten.

Gezien de inefficiëntie van de omzetting van energie en eiwitten uit granen naar vlees, ongeveer 10 op 1 voor runderen, zou een kleine vermindering van de vleesconsumptie een grote hoeveelheid granen beschikbaar kunnen maken. Dit illustreert

Tabel 38. GRANEN: WERKELIJKE CONSUMPTIE EN VERWACHTE TREND IN DE VRAAG PER BELANGRIJKSTE GEBRUIKSSOORTEN, GEMIDDELDE 1972-74 EN 1985

TABLE 38
CEREALS: ACTUAL CONSUMPTION AND PROJECTED TREND DEMAND BY MAIN TYPES OF UTILIZATION, 1972-74 AVERAGE AND 1985

| | Actual cons. | Projected demand | |
|---|---|---|---|
| | 1972-74 average | 1985 basic | 1985 supplemental |
| | Million M.T. | | |
| Developed countries | | | |
| Food | 160.0 | 163.4 | 159.8 |
| Feed | 413.1 | 515.5 | 530.9 |
| Other uses | 102.2 | 119.4 | 122.7 |
| Total | 675.3 | 798.3 | 813.4 |
| Developing market econ. | | | |
| Food | 313.2 | 441.5 | 450.7 |
| Feed | 40.6 | 71.8 | 81.3 |
| Other uses | 49.1 | 64.5 | 67.7 |
| Total | 402.9 | 577.8 | 599.7 |
| Asian centrally planned economies | | | |
| Food | 195.2 | 256.6 | 263.7 |
| Feed | 32.9 | 45.8 | 55.3 |
| Other uses | 28.7 | 35.5 | 37.4 |
| Total | 256.8 | 337.9 | 356.4 |
| World | | | |
| Food | 668.4 | 861.5 | 874.2 |
| Feed | 486.7 | 633.1 | 667.5 |
| Other uses | 180.0 | 219.4 | 227.8 |
| Total | 1335.1 | 1714.0 | 1769.5 |

hoe de bestaande vraagpatronen vanuit een mondiaal, voedingskundig oogpunt verre van optimaal zijn. Vlees wordt echter beschouwd als een statussymbool of een favoriet voedsel, en een vrijwillige opoffering van de kant van de consument is onwaarschijnlijk.

Ondanks de aanzienlijke vooruitgang die de "Groene Revolutie" heeft geboekt, zijn er nog steeds onderzoeks- en ontwikkelingsinspanningen nodig om nieuwe, hoogproductieve rassen te ontwikkelen en uit te breiden. Bepaalde soorten, zoals maïs, gerst en sorghum, bieden goede mogelijkheden om een hoog opbrengstpotentieel te combineren met een hoger eiwitgehalte.

## PEULEN

De tweede belangrijkste eiwitbron in het dieet van lagere inkomensgroepen zijn peulvruchten. Deze zijn met name belangrijk omdat sommige peulvruchten de onvoldoende aminozuursamenstelling van de meeste graaneiwitten aanvullen. Er zou meer aandacht moeten worden besteed aan gedroogde peulvruchtzaden, die direct eetbaar zijn en rijk aan eiwitten. Peulvruchten zijn ook belangrijk vanwege hun vermogen om stikstof te binden. Bacteriën die in symbiose leven met de wortels van peulgewassen maken de omzetting mogelijk van stikstof uit de lucht, die in de bodem aanwezig is, in bruikbare nitraten. Hierdoor is er weinig stikstofmeststof nodig. Na de oogst van de peulgewassen kunnen de stengels en andere ongebruikte delen in de grond worden geploegd, waardoor een natuurlijke stikstofmeststof ontstaat voor volgende gewassen. Om deze reden worden peulgewassen vaak in vruchtwisseling geteeld. Zoals we hebben gezien, wordt er intensief onderzoek gedaan om deze eigenschap van stikstofbinding ook bij andere voedgewassen te bewerkstelligen.

De laatste tijd is er een toenemende belangstelling voor processen om voedsel voor de mens te maken van de restproducten die overblijven na de olie-extractie uit soja, pinda's en katoen. Voorheen werden deze grondstoffen gebruikt als veevoer of meststof, of weggegooid. Producten gemaakt van soja zijn al goed ingeburgerd op de markt, producten van pinda's worden steeds vaker gebruikt in India, en producten van veldbonen (*Vicia faba*) beginnen hun intrede te doen in Groot-Brittannië. Het gebruik van onsmakelijke maar hoogproductieve peulvruchten zou kunnen worden vergroot door de ontwikkeling van verwerkingsmethoden..

Helaas kampen peulgewassen met talrijke productieproblemen en onderzoeksmoeilijkheden. Deze omvatten onder andere onbepaalde bloei, inefficiënte fotosynthese en overmatige vegetatieve groei. Deze factoren leiden tot een lagere opbrengst in vergelijking met granen, zelfs bij gebruik van irrigatie en kunstmest. Bovendien, omdat de ecologische omstandigheden waaraan specifieke peulgewassen zich hebben aangepast zo uiteenlopend zijn, moeten onderzoeksprojecten in elk van de belangrijkste teeltgebieden worden uitgevoerd. Ondanks deze moeilijkheden moet het onderzoek naar peulgewassen worden versterkt met als uiteindelijk doel de boer een financieel rendement te bieden dat gelijkwaardig is aan dat van tarwe en andere granen. Twintig jaar geleden was een goede oogst van veldbonen 4 ton per hectare. Nu wordt 14 ton haalbaar geacht.

!

## WORTELS EN KNOLLEN

Er wordt nu meer aandacht besteed aan het verbeteren van de opbrengst en de voedingswaarde van tropische wortel- en knolgewassen zoals cassave, zoete aardappelen en taro, voor zowel menselijke als dierlijke consumptie. Met uitzondering van onderzoek naar de aardappel is onderzoek naar wortel- en knolgewassen lange tijd verwaarloosd, voornamelijk vanwege de geringe interesse in ontwikkelde landen. Zowel de vooruitgang in weefselkweek als de mogelijkheid om zaad van bepaalde soorten te ontwikkelen, bieden kansen voor genetische verbetering van de opbrengst en de voedingswaarde. Recente ontwikkelingen hebben geleid tot een verkorting van de rijpingstijd, waardoor meerdere teelten mogelijk zijn en de productie toeneemt.

## GROENE GROENTEN

Er moet intensief worden gewerkt aan bladgroenten. Het doel moet niet alleen zijn om de groenten die in de ontwikkelde landen worden gebruikt aan te passen aan de vochtige tropen, maar ook om inheemse planten, zoals *Amaranthus, Basella* en *Ipomea aquatica*, te verbeteren. Hoewel het in wezen nog steeds wilde planten zijn, kunnen deze soorten jaarlijks 2-4 ton eetbare eiwitten per hectare opleveren. In delen van de tropen waar bladgroenten gemakkelijk groeien, is de consumptie ervan zelfs nog kleiner dan in Europa en de Verenigde Staten, en lijkt deze zelfs af te nemen. In India bijvoorbeeld is het areaal dat voor de teelt van groenten wordt gebruikt de afgelopen tien jaar voortdurend afgenomen, zonder dat dit werd gecompenseerd door een toename van de productiviteit. Er moeten actieve maatregelen worden genomen om de trend naar minder groenten te keren. Op wereldschaal is de productie van fruit bijna gelijk aan die van groenten. Beide zijn relatief laag in energie- en eiwitgehalte, maar zijn erg belangrijk vanwege hun vitamines. .

## DIEREN

*Vee.* De vraag naar vlees wereldwijd blijft stijgen en het aantal vleesimporterende landen zal naar verwachting toenemen, van Europa en de Verenigde Staten tot de Sovjet-Unie, China, Japan en andere Aziatische landen.

De veeteelt speelt een belangrijke rol in de plattelandseconomie van veel ontwikkelingslanden en veeteeltproducten, zoals melkpoeder, worden vaak gebruikt als aanvulling op het schaarse dieet van ondervoede mensen.

Vee zet energie en eiwitten echter zeer inefficiënt om, en een belangrijk type vee, niet-herkauwers (varkens, kippen en ander gevogelte), is grotendeels afhankelijk van voedgewassen voor hun voeding. Wanneer vee wordt gevoed met de producten van akkerland, concurreren mens en vee rechtstreeks om voedsel.

Helaas wordt vlees gezien als een prestigeproduct en kent het een hoge inkomenselasticiteit van de vraag, zowel in rijke als in arme landen. Naarmate de inkomens stijgen, zal de vraag naar vlees snel toenemen, waardoor dit conflict tussen de voeding van armen en rijken verergert, tenzij er preventieve maatregelen worden genomen. Aan de andere kant is er een gebrek aan bewustzijn over de omvang en de gevolgen van overconsumptie. Er is overtuigend medisch bewijs dat hartziekten in welvarende landen in verband brengt met overconsumptie, met name van vette vleesproducten. En in het algemeen tonen actuariële studies een omgekeerd verband aan tussen overgewicht en levensverwachting. Sociaal, economisch en consumentengedragsonderzoek zou zich moeten richten op het vinden van mechanismen om in de graanbehoefte van ontwikkelingslanden te voorzien. Verantwoordelijke overheden zouden maximumlimieten moeten vaststellen voor de hoeveelheid binnenlands of geïmporteerd vee dat voornamelijk met granen wordt gevoerd. Gezien de keuze tussen met graan gevoerde runderen en pluimvee, zal de graanbehoefte aanzienlijk worden verminderd door een verhoogde consumptie van pluimvee, de efficiëntere omzetters.

Het is belangrijk op te merken dat herkauwers, in tegenstelling tot varkens en pluimvee, gebruik kunnen maken van weidegronden en graslanden die slechts een marginale waarde hebben voor de gewasproductie.

Bovendien zijn herkauwers van groot sociaal en economisch belang in sommige achterstandsgebieden, zoals de Sahel in Afrika. Met vee dat efficiënt met water omgaat, zijn er mogelijkheden om de vlees- en melkproductie uit te breiden, het inkomen te verhogen en de voeding van gezinnen van kleine boeren te verbeteren. In veel gevallen betekent dit het versterken van het gebruik van lokale diersoorten die goed zijn aangepast aan hun omgeving. Prioriteit in onderzoek zou moeten worden gegeven aan het verhogen van de productie van herkauwers door middel van niet-intensieve voedertechnieken, zoals grazen op niet-akkerland of het voeren van de dieren met bijproducten van de akkerbouw, en het gebruik van lokale soorten die goed zijn aangepast aan de omgeving.

Binnen dit voedingskader moeten we een gecoördineerd wereldwijd programma bevorderen om de voeding en fokkerij van vee te rationaliseren.

en om technische infrastructuren te ontwikkelen, zoals slachthuizen en vriesfaciliteiten, en transport- en distributiesystemen. Een dergelijk programma is nodig om de productiekosten te verlagen.

*Vis*. Zowel zee- als zoetwatervis kan worden gekweekt of op traditionele wijze worden gevangen. Het is onwaarschijnlijk dat de duurzame vangst van zeevis meer dan verdubbeld kan worden. Het aandeel van de vangst dat door mensen wordt gegeten, zou echter gemakkelijk kunnen verdubbelen als er minder verspilling is en als vooroordelen de keuze van eetbare soorten niet beperken. Op dezelfde manier zou de vangst van weekdieren honderd keer zo groot kunnen worden, hoewel eetgewoonten een hogere consumptie kunnen beperken.

De toepassing van bemesting in zeeaquaria is vooralsnog beperkt. Een bepaalde hoeveelheid meststof heeft namelijk veel meer effect op het land, waar het in de bovenste centimeters blijft, dan in de oceaan, waar het naar de diepte verdwijnt.

Het bemesten van meren om de groei van visvoer te bevorderen heeft een groter potentieel, omdat een groot deel van het water ondiep en goed verlicht is. Er is echter geen bewijs dat de hoeveelheid voedsel voor de mens die door bemest water wordt geproduceerd, groter zou zijn dan de hoeveelheid die door hetzelfde oppervlak aan bemest land wordt geproduceerd. Beweringen die het tegendeel beweren, zijn gebaseerd op opbrengsten uit vijvers waaraan elders geproduceerd visvoer is toegevoegd. In zo'n voorbeeld waren de vissen vergelijkbaar met varkens in een stal. Het is niet vastgesteld of vissen efficiëntere omzetters zijn dan varkens.

Zoetwatervissen die zich voeden met planten hebben verschillende duidelijke voordelen. In sommige delen van de wereld worden vissen gekweekt in ondergelopen rijstvelden zonder dat dit de rijstopbrengst vermindert. Recent onderzoek heeft indrukwekkend bewijs geleverd dat graskarpers irrigatiesloten en andere waterlopen vrijhouden van onkruid, waardoor voedsel wordt geproduceerd en het gebruik van herbiciden overbodig wordt.

Twee punten zijn duidelijk. Ten eerste moeten bestaande waterlichamen worden gebruikt en waar mogelijk bemest. Volgens de huidige kennis is het echter niet raadzaam om nieuwe meren aan te leggen ten koste van landbouwgrond. Ten tweede moet de voorkeur worden gegeven aan herbivore vissen in plaats van de gebruikelijke carnivore vissen, vanwege de grotere efficiëntie van de kortere voedselketen.

## NIET-CONVENTIONELE PRODUCTEN

Naast de productie van eiwitten (vlees, melk, eieren, vis, meel, peulvruchten en oliezaden) is het noodzakelijk om de mogelijkheden te onderzoeken voor de productie van niet-conventionele eiwitten, die bijvoorbeeld kunnen worden gewonnen uit vezelrijke restproducten, voedergewassen, microbiële saprofyten (bacteriën, gisten, schimmels) en algen. Een volledige evaluatie moet een beoordeling omvatten van de technologie, de benodigde kapitaalinvestering en arbeid, het vereiste managementniveau, de waarschijnlijke verkoopprijs van het voedsel en, voor nieuwe voedingsmiddelen, een beoordeling van de consumentenacceptatie.

*Eiwit uit voedergewassen* heeft een nadeel wanneer het door dieren wordt omgezet in voedsel voor de mens. Er gaat 80-90% van het eiwit verloren. Door mechanische scheiding kan één hectare gewas 2-3 ton eetbaar eiwit per jaar opleveren en het zou mogelijk moeten zijn om deze opbrengst te verhogen tot 4-5 ton.

De vezelrijke resten van veel gewassen zijn gemakkelijk te bewaren en vormen vaak waardevol veevoer voor herkauwers. Daarom is er steeds meer interesse in de mogelijkheid om eetbare eiwitten te winnen uit voedergewassen en bladgroen, een bijproduct van andere landbouwgewassen zoals suikerbieten, aardappelen, groene erwten, zoete aardappelen en jute. Het is duidelijk voordelig om nuttige stoffen te winnen uit een bijproduct dat anders verloren zou gaan. De technologie voor de winning van dit "bladeiwit" bevindt zich nog in een experimenteel stadium en de eiwitwinning vindt slechts op kleine schaal plaats.

De verschillende producten en afvalstoffen die potentieel als herkauwer-voer zouden kunnen dienen, worden vaak over het hoofd gezien, of ze worden alleen beschouwd als materiaal voor verwerking door fermentatie of chemische behandelingen. In de grootschalige landbouw, waar grote hoeveelheden fermenteerbaar materiaal op één plek kunnen worden verzameld, kan fermentatie voordelen bieden. In de kleinschalige landbouw blijft het materiaal waarschijnlijk op de boerderij waar het wordt geproduceerd. In dat geval heeft lokale consumptie door dieren de voorkeur.

*Eiwitten uit eencellige organismen* (*Single-cell proteins*: SCP's), geproduceerd door gistfermentatie met koolwaterstoffen of andere chemicaliën als substraat, kunnen een steeds groter deel van diervoeder vormen als aanvulling op sojabonen en vismeel tegen vergelijkbare kosten. Een opbrengst van 1 kg eiwit per 2 kg substraat is haalbaar.

Eiwit uit eencellige organismen zal pas als voedsel voor de mens worden gebruikt wanneer is aangetoond dat de verschillende vormen ervan niet giftig en niet kankerverwekkend zijn. Uitgebreid

tests zijn nodig om te garanderen dat de eiwitten aanvaardbaar zijn en dat ze gedurende lange perioden kunnen worden geconsumeerd zonder nadelige effecten. Een ander probleem is de gedeeltelijke verwijdering van nucleïnezuren tot niveaus die geschikt zijn voor menselijk gebruik.

Bovendien kunnen er mogelijk residuele toxische effecten optreden bij vlees van runderen die gevoerd zijn met eencellige eiwitten. Een veelbelovende onderzoeksrichting is de studie van eiwitproducerende schimmels en fermentatieprocessen met eenvoudige chemische grondstoffen zonder aromatische bestanddelen, zoals methanol, ethanol, melasse en koolhydraten. De afwezigheid van aromaten lijkt het risico op schadelijke effecten voor de menselijke gezondheid aanzienlijk te verminderen, maar er kunnen wel andere toxische factoren aanwezig zijn. De productie van eencellige eiwitten voor veevoer zal daarom pas op de lange termijn een significant effect hebben. Het gebruik ervan voor menselijke consumptie blijft problematisch.

Een andere bron van niet-conventionele eiwitten worden gevormd door *microalgen*, die hun celmateriaal produceren door fotosynthese uit koolstofdioxide en een oplossing van voedingszouten. Hun eiwitgehalte is vrij hoog (zelfs boven de 50%), de groeisnelheid is iets lager dan die van bacteriën en gisten, met als bijkomend voordeel een lager nucleïnezuurgehalte. *Spirulina*, een blauwgroene alg, is de soort die het meest uitgebreid is onderzocht voor grootschalige productie. Het wordt van oudsher als voedsel geconsumeerd door de inwoners van sommige regio's in Mexico en Tsjaad. De gedroogde alg bevat ongeveer 63% eiwitten, 2-3% lipiden en 16-18% koolhydraten. Het cellulosegehalte is bijzonder laag, waardoor het zeer goed verteerbaar is. Er zijn twee methoden overwogen voor de teelt van microalgen: (1) in de open ruimte met natuurlijk licht en (2) In een gesloten systeem, met natuurlijk of kunstmatig licht. Natuurlijk licht is verreweg het meest veelbelovend en daarom ook het meest uitgebreid onderzocht. De belangrijkste technologische problemen betreffen de verdeling van koolstofdioxide, het roeren van de culturen om voldoende licht te verkrijgen, het oogsten van algen en het handhaven van de optimale temperatuur voor de algengroei. Onder de beste omstandigheden bedraagt de opbrengst ongeveer 40-50 ton gedroogde algen per hectare per jaar. Grootschalige productie van algenproteïne is echter nog onzeker, aangezien het onderzoek zich nog in een beginstadium bevindt.

## 4.4. Conclusies en aanbevelingen over voeding

1. Van de drie door de Werkgroep besproken gebieden is het voedseltekort het meest cruciale en urgente probleem. Minstens 500 miljoen en mogelijk tot wel 1000 miljoen mensen, voornamelijk in ontwikkelingslanden, zijn al ondervoed. Een aanzienlijk aantal van hen is zo ondervoed dat ze hun fysieke of mentale potentieel nooit zullen bereiken. Het vooruitzicht van een snel groeiende wereldbevolking, een toenemende afhankelijkheid van marginale land- en waterbronnen, hogere energiekosten en een gestage, langdurige stijging van de voedselprijzen die de koopkracht van een groot deel van de mensheid overstijgt, stelt de internationale gemeenschap voor een ongekende uitdaging.

2. Er zijn vier fundamentele benaderingen voor het voedselprobleem:

(i) de groei van de vraag afremmen door de bevolkingsgroei te beheersen of inefficiënte voedselproducten zoals met graan gevoerd vee te beperken;

(ii) de voedseldistributie verbeteren, door meer te geven aan ondervoede mensen en minder aan mensen met een overmatig dieet;

(iii) de voedselproductie verhogen; en

(iv) de overmatige verspilling bij het verzamelen, opslaan en verwerken verminderen.

3. Het afremmen van de vraagtoename is problematisch; vleesvervangers worden bijvoorbeeld niet veel gebruikt en bevolkingsbeheersing is een proces van lange duur. De herverdeling van voedsel, of inkomen voor de aankoop van voedsel, vereist vaak radicale politieke veranderingen. Helaas is dit, afgaande op het verleden, in veel gebieden op korte termijn onwaarschijnlijk. Het verhogen van de productie is een uiterst complex proces dat afhangt van de aanleg van infrastructuren, kredietsystemen, landhervormingen en stabiele, lonende prijzen. Daarnaast is er de enorme taak om nieuwe voedsel- en landbouwtechnologieën te ontwikkelen die beter zijn afgestemd op de ecologische en sociale omstandigheden van ontwikkelingslanden.

4. De vier benaderingen zijn onderling afhankelijk en elk ervan kent ernstige obstakels. Daarom is een multi-strategische aanpak noodzakelijk, aangezien het vertrouwen op één enkele aanpak onvoldoende kan blijken.

5. De huidige nadruk op het verhogen van de productie moet opnieuw worden bekeken in het licht van de andere alternatieven. Wellicht zouden aanvaardbare reducties in de vraaggroei en verbeteringen in de voedseldistributie de productieproblemen aanzienlijk beter beheersbaar maken.

6. Voedseltekort is in veel opzichten een politiek probleem.Zelfs in landen met een voedseloverschot blijft een aanzienlijk deel van de bevolking ondervoed. De belofte van een toekomstige onderzoeksdoorbraak kan geen vervanging zijn voor landbouwhervormingen of de politieke veranderingen die nodig zijn om meer middelen vrij te maken voor landbouwontwikkeling en voeding.
7. In deze context is onderzoek in zowel de sociale als de natuurwetenschappen cruciaal. Onderzoek blijft momenteel een van de zwakste schakels in de keten van landbouwontwikkeling in minder ontwikkelde landen. Minder dan 0,25% van het agrarische bbp wordt momenteel besteed aan landbouwkundig onderzoek in ontwikkelingslanden, vergeleken met 1 of 2% in ontwikkelde landen. Toch moet juist in minder wetenschappelijk ontwikkelde landen het adaptieve onderzoek plaatsvinden, en kunnen de voordelen van onderzoek daar het grootst zijn. Het is daarom noodzakelijk om de capaciteit voor landbouwkundig onderzoek in en ten behoeve van minder ontwikkelde landen te versterken.

8. Er zijn drie voorgestelde onderzoeks- en ontwikkelingsgebieden: (i) een betere benutting van hulpbronnen door planten en dieren voor voedselproductie, waaronder planten met een verhoogde lichtefficiëntie, gewassen met een grotere nutriëntenopname, dieren die efficiënter met water omgaan, gewassen die een continue groene bedekking bieden, nieuwe stikstofbindende gewassen, energieanalyse van de landbouw, verhoogde opbrengsten van voedgewassen en het gebruik van niet-conventionele eiwitrijke voedingsmiddelen; (ii) verbeterde productietechnieken, zoals eenvoudige methoden voor waterwinning en -opslag, geïntegreerde plaagbestrijding, verbeterde toepassing van meststoffen en het gebruik van laagwaardige fosfaatgesteenten; en (iii) landbouwproductie onder zwaardere ecologische omstandigheden, zoals bijvoorbeeld de aanpassing van **HRV**, gewassen die brak water gebruiken, planten met een verhoogde winterhardheid, onderzoek naar vochtstress en, in het algemeen, de verdere ontwikkeling van de tropische landbouw.

Sociaal-economisch onderzoek zou de organisatie van de landbouw en andere sectoren die van invloed zijn op de menselijke voeding moeten bestuderen. Dit omvat onderzoek naar landhervormingen en het prijsbeleid in de landbouw, het gebruik van schaalvoordelen, de maatschappelijke impact van alternatieve technologieën, de adequaatheid van transport-, opslag- en distributiesystemen en de invloed van de sectoren gezondheid, sanitaire voorzieningen en voedselverwerking op de voeding.

9. Er zijn inherente vertragingen in onderzoek, landhervorming, economische ontwikkeling en bevolkingsstabilisatie. Een vertragend of *status-quo-*

beleid ten aanzien van de landbouwontwikkeling zal het voedseltekortprobleem in de toekomst hoogstwaarschijnlijk verergeren. Een belangrijke onderzoekstaak is het vaststellen van de omvang en aard van de investeringen, het onderzoek en de ontwikkeling, en de hulp die nodig zijn om een nog groter voedseltekort op de middellange en lange termijn te voorkomen. We moeten daarom de kwestie van adequate middelen aanpakken. De rijkere landen moeten bereid zijn om het landbouwkundig en voedselonderzoek, de technische bijstand en de hulp te vergroten, ondanks hun eigen toegenomen moeilijkheden; en de ontwikkelingslanden moeten bereid zijn een groter deel van hun middelen aan de landbouw te besteden, vaak ten koste van meer prestigieuze programma's. Substantiële en langetermijn-financierings-mechanismen zullen waarschijnlijk nodig zijn. Economische en beleidsstudies zouden moeten worden gestart om manieren te onderzoeken om dergelijke mechanismen te creëren en te coördineren.

# 5. Klimaat

Alle biologische levensvormen, inclusief de mens, zijn aangepast aan een bestaan binnen vrij nauwe biologische grenzen, met name wat betreft temperatuur. Veranderingen in het klimaat, en zelfs vrij kleine temperatuurschommelingen, kunnen dus een groot effect hebben op de mens en zijn samenlevingen, doordat ze de omstandigheden voor de productie van voedsel veranderen en ook van invloed zijn op het soort beschutting dat de mens nodig heeft om zich comfortabel te voelen.

Binnen de atmosfeer van de aarde, in nauwe samenhang met de oceanen, de kale aarde en de begroeiing, vindt de hydrologische cyclus plaats, waarbij verdamping en neerslag een constante recycling van de watervoorraden van de aarde vormen. In dit proces verzamelen en verspreiden zich, bewegen en consolideren gigantische krachten die het klimaat van de planeet met zijn klimaatvariaties bepalen. Hoewel de energie die bij deze verschijnselen betrokken is enorm is, is het evenwicht vaak zo precair dat relatief kleine krachten het al kunnen verstoren. We weten veel te weinig over de algehele werking van het klimaatsysteem en zijn nog niet in staat om veranderingen daarin verder dan een korte tijd vooruit te voorspellen. We weten nog minder over de oorsprong en de waarschijnlijkheid van grote klimaatveranderingen, zoals ijstijden of uitzonderlijk hete of droge perioden, die volgens de geschiedenis, zoals beschreven in boeken en gesteenten, een regelmatig terugkerend verschijnsel waren in het verleden van onze planeet.

In vroegere tijden heeft de mens door zijn ingrijpen in het milieu duidelijk grote regionale klimaatveranderingen veroorzaakt. Zo hebben bijvoorbeeld slechte landbouwpraktijken, overbegrazing, kaalkaptechnieken enz. waarschijnlijk grote delen van de wereld veranderd van vruchtbare grond in woestijn, maar het is onzeker in hoeverre deze verschijnselen te wijten waren aan natuurlijke oorzaken en in hoeverre aan het verkeerde beheer van het milieu door de mens. We weten evenmin in hoeverre onze huidige toenemende energieproductie en -verbruik, met inbegrip van de warmte, kooldioxide en koolstofuitstoot van de moderne industrie, vrij klein in vergelijking met

de krachten van de atmosfeer, kan het systeem als geheel beïnvloeden.

Er bestaat een nieuwe en dringende behoefte om deze zaken beter te begrijpen in relatie tot de huidige, zeer snelle groei van de wereldbevolking, de daarmee gepaard gaande vraag naar een sterk toegenomen landbouwproductie en de daaruit voortvloeiende intensivering van de industrialisatie. Deze behoefte aan meer kennis wordt ook versterkt door signalen dat we mogelijk een periode van klimaatverslechtering ingaan, in tegenstelling tot de gunstige omstandigheden van de afgelopen decennia, en door een groeiend besef van de noodzaak om vast te stellen in hoeverre menselijke activiteiten de klimaatverandering op de lange termijn kunnen beïnvloeden, om gevaren, waaronder onomkeerbare gevolgen, te voorkomen.

In deze korte notitie bespreken we allereerst de mogelijke en zelfs waarschijnlijke gevolgen van de dreigende klimaatverandering als gevolg van natuurlijke, maar nog niet volledig begrepen variaties. Vervolgens bekijken we of en in hoeverre de toenemende menselijke activiteit op aarde het milieu zodanig verandert dat er sprake is van ernstige klimaatverstoring.

Er zijn steeds meer aanwijzingen dat we een periode van onzekere klimaatomstandigheden ingaan. Er bestaan weinig langetermijngegevens over temperatuur en andere klimaatelementen op het zuidelijk halfrond, waardoor de meeste informatie afkomstig is uit de temperatuurzones van het noordelijk halfrond.

Daar lijkt de periode van ongeveer 1930 tot 1960 uitzonderlijk gunstig te zijn geweest voor de landbouw. Men heeft de neiging gehad om deze jaren als klimatologische norm te beschouwen, maar sommige deskundigen hebben erop gewezen dat dit de meest abnormaal warme periode van de afgelopen duizend jaar is geweest.

In de jaren vijftig, en vooral in de jaren zestig, lijkt er echter een scherpe ommekeer te hebben plaatsgevonden in deze opwarmingstrend op het noordelijk halfrond. De gemiddelde oppervlaktetemperatuur is de laatste tijd gestaag afgekoeld. De totale omvang lijkt gering: een daling van slechts ongeveer 0,3 °C in het jaarlijkse gemiddelde van de aarde sinds de jaren veertig. Zelfs deze lichte afkoeling heeft echter het groeiseizoen in landen als Canada en Engeland met een week of meer verkort.

Het is goed mogelijk dat we op weg zijn naar temperatuurniveaus die vergelijkbaar zijn met die van de periode vlak voor de twintigste eeuw.

Er bestaat geen volledige consensus onder klimatologen over de

waarschijnlijke toekomstige trends, maar er lijkt een algemene opvatting te ontstaan dat, we zijn niet alleen een koelere periode ingegaan op hoge breedtegraden, maar we moeten mogelijk ook rekening houden met grotere klimaatschommelingen, extreme hitte en kou, droogte en overstromingen. De klimaatafwijkingen van 1972 zouden hiervan een vroeg voorbeeld kunnen zijn. 1972 was een slecht jaar voor de wereldwijde landbouwproductie, na een lange reeks van stijgende opbrengsten. Dat jaar bereikte de lange en rampzalige droogte in de Sahel in Afrika een hoogtepunt, en de droogte in de Sovjet-Unie maakte grote aankopen van granen uit de Verenigde Staten noodzakelijk, wat leidde tot verstoringen op de productmarkt, een schadelijke vertraging in de aankomst van de moesson in India, ernstige overstromingen in het Amerikaanse Middenwesten en een opwarming van het kustwater van Peru, wat leidde tot een bijna volledige ineenstorting van de belangrijke ansjovisvangst van dat land met ernstige economische en nutritionele gevolgen. Met de daling van de wereldwijde voedselproductie in 1972 nam de wereldbevolking met nog eens 70 miljoen toe.

De kwetsbaarheid van de landbouw voor klimaatverandering in een tijd van snelle bevolkingsgroei leidt tot het besef dat het nodig is om voorraden op te bouwen die een reële buffer vormen tegen jaarlijkse schommelingen in de landbouwopbrengsten. De wereldwijde voedselreserves, die in 1961 nog voldoende waren voor 105 dagen consumptie, waren in 1975 echter gedaald tot amper een maand. De voor de hand liggende oplossing lijkt de oprichting van internationaal beheerde buffervoorraden te zijn, die in noodgevallen beschikbaar zijn, maar ook tegen deze aanpak bestaat nog veel verzet. Hoe langer we wachten, hoe meer monden er gevoed moeten worden, hoe groter de vraag naar jaarlijkse voorraden zal zijn en hoe moeilijker het wordt om reserves op te bouwen.

Natuurlijk bestaat er geen zekerheid over klimaatkwesties, maar de waarschijnlijkheden wijzen erop dat de grillen van het klimaat in de toekomst wel eens een grotere invloed zouden kunnen krijgen op de wereldwijde voedselvoorziening dan de beslissingen van de landbouwbureaucraten.

Het directe effect van menselijke activiteiten op het klimaat, voornamelijk door landbouwpraktijken en de opwekking en het gebruik van energie, is eveneens omgeven door onzekerheid en onwetendheid. Niettemin zijn er aanwijzingen, bijvoorbeeld in thermische vervuiling en in de ophoping van kooldioxide in de atmosfeer, dat dergelijke effecten een planetaire betekenis hebben en zouden de “buitenste grenzen” van ontwikkeling kunnen vormen als

ze te ver worden doorgevoerd. Het kan nuttig zijn om hier een paar van deze effecten te bekijken.

Er bestaat de vrees dat grootschalige projecten voor de transformatie van de landbouw gevaarlijke en onvoorspelbare neveneffecten op het klimaat kunnen hebben.

Een voorbeeld hiervan is het voorstel van de Sovjet-Unie om de grote rivieren van Siberië, die in het Noordpoolgebied uitmonden, en enkele minder belangrijke rivieren in Oost-Rusland om te leiden of af te tappen, om zo extra water te leveren aan de droge gebieden van Centraal-Azië en rond de Kaspische en Araizee. Dit ambitieuze programma roept een aantal lastige vragen op, omdat het een bijzonder gevoelig punt in het bestaande klimaatregime van het noordelijk halfrond kan raken door de zoutgehalte en temperatuur van de Arctische Oceaan te beïnvloeden. Dit zou kunnen leiden tot een toename van het oceaanoppervlak dat normaal niet met ijs bedekt is, en daarmee tot een aanzienlijke verandering van de atmosferische circulatie en het algehele klimaat. Dit is geen op zichzelf staand voorbeeld. Veel andere irrigatieprojecten van enorme omvang zijn geopperd en worden in andere delen van de wereld onderzocht. Omdat de gevolgen van dergelijke projecten voor het klimaat wereldwijd kunnen zijn, is het belangrijk dat de hieruit voortvloeisel objectief wordt geformuleerd en besproken door de wetenschappelijke gemeenschap.

Het kan in de toekomst inderdaad nodig zijn dat de landen van de wereld overeenstemming bereiken over het feit dat alle belangrijke initiatieven, die mogelijk invloed hebben buiten het soevereiniteitsgebied van het betreffende land, aan internationaal wetenschappelijk onderzoek worden onderworpen en pas na gedegen overleg in werking worden gesteld. Dit is belangrijk, niet alleen met het oog op de te verwachten klimaatgevolgen, maar ook om latere politieke conflicten te voorkomen. Het vermoeden dat grote projecten in een ander land hebben geleid tot klimaatverslechtering elders, kan net zo groot zijn als de werkelijkheid, aangezien het maar al te gemakkelijk is om klimaatrampen – overstromingen, droogtes of woestijnvorming, die inherent zijn aan de natuur – toe te schrijven aan manipulatie door anderen. Zelfs bij de relatief onbeduidende kwestie van kunstmatige regenval door het inzaaien van wolken met zilverjodide, zijn er talloze beschuldigingen dat plaatselijke regentekorten worden veroorzaakt doordat het water is "gestolen" door districten, provincies of landen.

De impact van door de mens opgewekte energie op het lokale en mondiale klimaat is een ander zeer belangrijk vraagstuk. De noodzaak om een aanvaardbaar klimaat te behouden, legt fysieke grenzen op aan de energieproductie. Als gevolg van

dergelijke beperkingen, waarvan de precieze afstand nogal onzeker is, kan de hoeveelheid goederen en diensten die ten behoeve van de mensheid kunnen worden geleverd, uiteindelijk beperkt worden. De beste schattingen van de totale warmteproductie van de mens in 1970 bedragen 0,11 ly/dag* gemiddeld over het totale landoppervlak. Dit cijfer komt ongeveer overeen met de gemiddelde flux van geothermische warmte uit het binnenste van de aarde (0,13 ly/dag). In geïndustrialiseerde gebieden is het niveau van door de mens geproduceerde energie echter veel hoger, met 250 ly/dag in Manhattan en meer dan 300 in Montreal (winter). De door de mens geproduceerde energie in dergelijke plaatsen is dus vergelijkbaar met de netto straling van de zon die door het aardoppervlak wordt geabsorbeerd (totaal gemiddelde 200-250 ly/dag). De eerdergenoemde prognoses voor de warmteafgifte, die uiteindelijk $3 \times 10^{14}$ W zullen bedragen, komen overeen met een gemiddelde warmteafgifte van 4,1 ly/dag over alle landgebieden. Wanneer de hoeveelheid warmteafgifte vergelijkbaar wordt met de invallende energie van de zon, kan een aanzienlijke klimaatverandering worden verwacht. Momenteel kan slechts een benaderende inschatting worden gemaakt van de temperatuurstijging die door een dergelijke warmteproductie wordt veroorzaakt en van de gevolgen daarvan voor het mondiale klimaat. Bovendien zal de daaruit voortvloeiende temperatuurstijging geenszins gelijkmatig over het aardoppervlak verdeeld zijn, maar zich concentreren in bepaalde sterk geïndustrialiseerde regio's. Daarom is het noodzakelijk te begrijpen in hoeverre thermisch vervuilde gebieden het delicate evenwicht van krachten die het mondiale klimaat bepalen, kunnen beïnvloeden, met name in kritieke gebieden zoals de Arctische ijskappen.

Het beoordelen van deze kwestie is momenteel moeilijk, omdat onze kennis van de klimaatfeedbackmechanismen rudimentair is. Er kunnen daarom twee hoofddoelen, in de vorm van modellen, worden geïdentificeerd voor klimatologisch onderzoek:

(a) algemene circulatiemodellen (dynamische en thermodynamische), vergelijkbaar met die welke worden gebruikt in numerieke dagelijkse weersvoorspellingen;
(b) klimaatmodellen (gemiddelde toestand).

Op een kortere tijdschaal zou een beter begrip van de interactie tussen klimaat en energie helpen bij het oplossen van het probleem van de optimale geografische verdeling van energiecentrales, in relatie tot het vermogen van de omgeving om de geproduceerde warmte te absorberen.

---

* 1 Langley (ly) = 1 calorie/cm $^2$.

Verdere aspecten van door de mens veroorzaakte activiteiten vereisen specifieke aandacht. In een ander deel van dit rapport hebben we de problemen besproken die samenhangen met de enorme hoeveelheid kooldioxide die vrijkomt bij de verbranding van fossiele brandstoffen. Hoewel koolstofdioxide slechts in zeer kleine hoeveelheden in de lucht voorkomt, is het natuurlijk essentieel voor het leven op aarde, omdat het de voeding vormt voor planten die het door middel van fotosynthese in het groene blad omzetten in suikers en zetmeel. Het is ook cruciaal voor het bepalen van de temperatuur op aarde, omdat het door het zogenaamde broeikaseffect een deel van de aardwarmte vasthoudt en voorkomt dat deze de ruimte in ontsnapt. Door menselijke activiteiten is het koolstofdioxidegehalte in de lucht al met zo'n 10% gestegen en naar schatting zal dit tegen het einde van de eeuw oplopen tot 25%. Dit zal zeker leiden tot een opwarming van het aardoppervlak, waarschijnlijk met ongeveer 1 °C, met een groter effect op hogere breedtegraden. Dit is ongeveer twee keer de opwarming die zich "natuurlijk" voordeed in de eerste helft van deze eeuw en is voldoende om de ijsmassa op de polen te verminderen, waardoor de zeespiegel stijgt en het klimaat in de gematigde breedtegraden verandert.

Een andere, onbedoelde opwarming van de atmosfeer wordt veroorzaakt door fijnstof, kleine submicroscopische deeltjes die in de lucht zweven. Dit kunnen vaste stoffen zijn zoals zand of roet, stof of ijsdeeltjes, of colloïdale druppeltjes, vaak met vloeibare chemicaliën. Veel van dit fijnstof is afkomstig van industriële activiteiten en ook van zogenaamde "dustbowl"-gebieden, of van het verbranden van afvalvegetatie om land vrij te maken. Hoewel dit fijnstof slechts een minuscule fractie van de totale atmosferische massa uitmaakt, kan het het klimaat beïnvloeden door zonlicht te absorberen en te verstrooien. Een ander gevolg van de toegenomen uitstoot van roetdeeltjes, waar men bang voor is, is de uiteindelijke afzetting ervan op het poolijs, waardoor een "vuile laag" ontstaat die de absorptie van zonne-energie aanzienlijk kan verhogen. Nog andere bedreigingen van klimaatverandering houden verband met de mogelijke verstoring van de ozonlaag, hoog in de stratosfeer, als gevolg van kettingreacties veroorzaakt door deeltjes van gehalogeneerde verbindingen of stikstofoxide, die vrijkomen door aerosolsprays (drijfgas in spuitbussen) enerzijds en uitlaat-gassen van supersonische vliegtuigen anderzijds, of door de verbranding van stikstofhoudend plantaardig afval in het geval van stikstofhoudende plantaardige afvalstoffen.

Er zijn aanwijzingen voor de ernst van al deze problemen, maar de omvang en het belang van elk probleem zijn nog niet volledig vastgesteld, evenmin als de vraag of er voldoende "atmosferische putten" bestaan voor de natuurlijke

verwijdering van door de mens veroorzaakte luchtvervuiling. Er is dus opnieuw grote behoefte aan meer onderzoek. Alle klimaatproblemen raken de hele mensheid en er is alle reden om ze aan te pakken op basis van ruime internationale samenwerking.

# 6. Enkele globale overwegingen

## Het probleem van afval en verspilling

De analyse in dit rapport benadrukt de trend in de huidige maatschappij om kostbare natuurlijke hulpbronnen zoals energie, grondstoffen en voedsel te verspillen; en laat zien hoe technologieën – zelfs de meest geavanceerde – in veel gevallen inherent verspillend zijn. Dit is duidelijk geworden in twee recente voorbeelden:

! 1. het begin van een snelle verslechtering van het milieu in veel gebieden van de wereld, met name in de geïndustrialiseerde landen;
2. de plotselinge prijsstijging van veel grondstoffen, en onzekerheid van het aanbod.

! In deze situatie is het absoluut noodzakelijk geworden om afval te verminderen om de beschikbaarheid van natuurlijke hulpbronnen te verlengen en milieuschade te beperken.

Een belangrijke vorm van afval is de verspreiding van eerder georganiseerde materialen, bijvoorbeeld de vorming en verspreiding van roest van een staalconstructie. De tweede wet van de thermodynamica leert ons dat dergelijk afval tot op zekere hoogte onvermijdelijk is en nooit volledig kan worden geëlimineerd. Dezelfde thermodynamische overwegingen leren ons dat geen enkele energiecentrale of industrieel proces alle energie van zijn brandstof kan omzetten in elektriciteit of mechanische arbeid. Een van de manieren om dit soort afval te verminderen, is door gecombineerde systemen te gebruiken die de lage temperatuurwarmte benutten die bij dergelijke processen vrijkomt. Zelfs dit zou echter niet leiden tot een volledige eliminatie van afval.

Om dezelfde reden is het niet realistisch om te denken aan volledige recycling van gebruikte materialen, aangezien dit een extreem hoog energieverbruik met zich mee zou brengen. Om één probleem op te lossen - dat van materialen - zou een ander probleem - dat van energie - dan verergerd worden.

Evenzo is het mogelijk de verliezen te beperken (maar niet volledig te elimineren)

gedurende de levenscyclus van een materiaal, vanaf de oorsprong als natuurlijke grondstof tot het gebruik ervan als een reeks eindproducten. Het ontwerp van het productiesysteem en de manier waarop de onderdelen ervan met elkaar samenhangen, hebben een grote invloed op de omvang van dit type afval. Dit hangt onder andere af van de mate van decentralisatie van het sociale systeem, wat relevant is in verband met het afvalprobleem.

Afvalvermindering is dus een aspect van hulpbronnenbeheer dat moet worden opgenomen in de steeds complexere sociale en economische doelstellingen van de samenleving. Sterker nog, afvalvermindering kan soms in conflict komen met andere doelen, zoals het verhogen van de productie of het beschikbaar stellen van sociale diensten aan iedereen. Zo kan de landbouwsituatie in veel ontwikkelingslanden aanzienlijk verbeterd worden door de extra inzet van energie-intensieve producten, zoals kunstmest en mechanisatie, om de voedselproductie voor ondervoede groepen te verhogen, ondanks het feit dat dit de energie-intensiteit van de landbouw en de daarmee samenhangende afvalproductie zou verhogen.

Dit benadrukt dat het doel om afval te verminderen, hoewel van cruciaal belang, in de context van de samenleving als geheel moet worden beschouwd.

Wat resoluut bestreden moet worden, is de enorme, onverantwoordelijke verspilling van grondstoffen, die onmiskenbaar kenmerkend is voor de meeste geïndustrialiseerde samenlevingen. Dit type verspilling moet worden onderscheiden van de verspilling die inherent is aan vrijwel alle menselijke activiteiten. Wetenschappers kunnen hierin een belangrijke rol spelen door de ontwikkeling van nieuwe technologieën of de verbetering van bestaande technologieën. In alle sectoren van de economie is een aanzienlijke vermindering van het verbruik van natuurlijke hulpbronnen per productie-eenheid ongetwijfeld mogelijk, zonder dat dit ten koste gaat van de kwaliteit of de levensstandaard. Energiebesparing moet daarom een hoeksteen van het energiebeleid vormen. Veel energiebesparende methoden en efficiëntere technologieën voor het gebruik van materialen zijn al beschikbaar of kunnen door verder onderzoek worden ontwikkeld.

Sommige moeilijkheden kunnen voortkomen uit het feit dat veel mogelijke technologische vooruitgang alleen bereikt kan worden door een reorganisatie van de productie- of dienstverleningsstructuren, wat problemen op institutioneel niveau met zich meebrengt. Een voorbeeld hiervan is de enorme hoeveelheid niet-

-benutte energie bij de thermische productie van elektrische energie, die tegenwoordig meestal verloren gaat als afgevoerde warmte met een lage temperatuur. De technische mogelijkheid om deze energie te gebruiken is algemeen bekend, bijvoorbeeld voor stadsverwarming of stoomvoorziening van industriële installaties, waardoor de algehele energie-efficiëntie aanzienlijk wordt verhoogd. De grootste moeilijkheid bij de grootschalige invoering van deze aanpak is de noodzaak van nieuwe institutionele en organisatorische regelingen.

Vergelijkbare overwegingen kunnen worden toegepast op vele andere productiesectoren, bijvoorbeeld op de organisatorische problemen die gepaard gaan met de recycling van gebruikte materialen en gemeentelijk afval. Op dezelfde manier kan de lage bodemproductiviteit in veel ontwikkelingslanden worden verbeterd door betere infrastructuur aan te leggen of door essentiële fysieke inputs gemakkelijker beschikbaar te maken voor de landbouw.

Afval lijkt een inherent product te zijn van de sociale, economische en culturele kenmerken van onze tijd. Voor verdere vooruitgang moet de mensheid daarom het tijdperk van verspilling achter zich laten.

## Het debat over fysieke grenzen

De voorgaande bespreking van energie, voedsel en grondstoffen heeft het complexe, onderling samenhangende netwerk tussen deze drie thema's aangetoond. De bespreking liet zien dat het voortdurend nodig is om deze problemen vanuit een mondiaal en interdisciplinair perspectief te bekijken. Een afzonderlijke analyse van elk van de drie gebieden wijst uit dat onderzoek en ontwikkeling een grote bijdrage kunnen leveren aan de oplossing van de belangrijkste problemen, hoewel er nog steeds diverse onzekerheden bestaan. Door de sterke onderlinge afhankelijkheid van energie, voedsel en grondstoffen is succesvol onderzoek in elke sector echter sterk afhankelijk van gelijktijdige vooruitgang op de andere fronten.

Wat voedsel betreft, bestaat er op de lange termijn een kans dat de eindige voorraden fosfor – een basiselement in meststoffen – een beperkende factor worden in de landbouwproductie. Voor energie zou een fysieke beperking kunnen voortkomen uit milieueffecten, met name de impact op het klimaat van de grote hoeveelheid warmte die vrijkomt. Wat natuurlijke minerale grondstoffen betreft, zijn experts het erover eens dat er geen kritische grens wordt voorspeld. Op enkele uitzonderingen na en voor vrijwel

alle toepassingen zijn er alternatieve materialen voor het huidige materiaal te vinden. Bovendien is het met voldoende energie mogelijk om praktisch alle benodigde materialen voor de komende jaren te produceren. Dit zou kunnen door gebruik te maken van laagwaardige en niet-conventionele ertsen, zij het tegen hogere kosten en met ernstige milieuproblemen.

Energie is duidelijk de kern van de zaak. Als er overvloedige, schone en goedkope energie beschikbaar zou zijn, zouden de technologische vooruitzichten voor voedsel en materialen goed zijn en zouden we kunnen uitkijken naar een wereldbevolking die minstens twee keer zo groot is als nu, met een bevredigende levensstandaard, ervan uitgaande natuurlijk dat het mondiale economische en politieke systeem in staat is een rechtvaardige verdeling te garanderen. Er is echter weinig direct vooruitzicht op een overvloedige, milieuvriendelijke en maatschappelijk verantwoorde, *en* goedkope energievoorziening.

De fysieke grenzen van de natuurlijke hulpbronnen van de wereld zijn gebaseerd op de grootte en samenstelling van de aarde en op de hoeveelheid zonnestraling die onze planeet bereikt. De hoeveelheid van deze hulpbronnen die daadwerkelijk kan worden geëxploiteerd, wordt enerzijds beperkt door de technologische mogelijkheden van de mens en anderzijds door bepaalde externe, fundamentele beperkingen, zoals het vermogen om aanvaardbare ecologische en klimatologische omstandigheden te handhaven en de beschikbaarheid van voldoende ruimte (niet alleen in fysieke zin) in een steeds dichterbevolkte wereld. Andere politieke, sociologische en psychologische beperkingen zijn evident, maar deze zijn onvoldoende onderzocht, en zelfs de identificatie van de fundamentele obstakels vereist een dieper begrip. Het onderwerp is zo complex dat elke discussie over de grenzen aan groei in puur materiële en fysieke termen onvermijdelijk te simplistisch en theoretisch zal zijn.

Technologische problemen zullen naar alle waarschijnlijkheid veel minder onoplosbaar blijken dan de bijbehorende politieke, sociale, psychologische en bestuurlijke problemen. De verwachte verdubbeling van de bevolking rond het jaar 2000 impliceert een veel grotere vraag. Dit vereist de ontwikkeling van een grotere capaciteit voor de productie van energie, mineralen, water en voedsel in een relatief korte periode. Met behulp van wetenschap en technologie is het ongetwijfeld mogelijk om, mits er voldoende tijd is, grondstoffen van een dergelijke omvang te produceren.

Maar onderzoek alleen is niet voldoende. De effectieve integratie van nieuwe wetenschappelijke kennis in het ontwikkelingsproces is een complexe aangelegenheid, die wordt bepaald door politieke en economische factoren met veel maatschappelijke beperkingen.

Hoewel de huidige totale voedselproductie niet lager is dan wat nodig is voor de huidige wereldbevolking, garanderen de economische en distributiesystemen en het marktmechanisme niet dat de armen in de wereld de minimaal noodzakelijke voeding ontvangen. Verbeterde landbouw, door nieuw onderzoek, kan een verdubbeling van de wereldbevolking niet mogelijk maken, tenzij er fundamentele veranderingen plaatsvinden in het economische en sociale systeem en in het internationale politieke denken. Zonder dergelijke veranderingen zullen de enorme voordelen die onderzoek en ontwikkeling zouden kunnen opleveren, vruchteloos blijven.

Een andere beperking voor de succesvolle toepassing van nieuwe wetenschappelijke ontdekkingen is de lange tijdsspanne die inherent is aan het onderzoeks-, ontwikkelings- en productieproces. Het kan wel 30 jaar of langer duren om van het eerste nieuwe concept in het hoofd van een wetenschapper tot de toepassing ervan op grote schaal in de productie te komen. Natuurlijk kunnen veel kleinere innovaties veel sneller worden toegepast, maar zelfs dan gaat er aanzienlijke tijd voorbij. In perioden van snelle verandering, zoals de huidige, kan deze lange tijdsspanne voor onderzoek en ontwikkeling betekenen dat technologische oplossingen, hoe goed ook, te laat komen. Dit aspect is met name belangrijk bij de introductie van nieuwe energiebronnen, die grote onderzoeks- en ontwikkelingsinspanningen vereisen en vele jaren nodig hebben om volledig te worden benut. In deze situatie is het duidelijk dat behoeften op de lange termijn onmiddellijke beslissingen vereisen, wil men dat onderzoeksresultaten tijdig beschikbaar zijn.

Daarnaast zijn er fundamentele problemen op het gebied van machtspolitiek, ongelijkheid in inkomensverdeling tussen landen en klassen, en vele andere belangrijke onopgeloste problemen die zich in internationale aangelegenheden voordoen. De cruciale behoefte is daarom een geïntegreerde aanpak van economisch, sociaal en technologisch beleid met een langetermijnperspectief en een mondiale visie. Verder ligt de belangrijke kwestie van het leren beheren van complexe systemen en het voorkomen van de opbouw van complexe, kwetsbare systemen. We moeten leren hoe we de maatschappelijke relevantie van economische criteria in de planning kunnen integreren om rekening te houden met maatschappelijke voordelen op de lange termijn in plaats van economische voordelen op de korte termijn. Deze kwestie heeft diepgaande politieke en institutionele implicaties.

# Voorgestelde onderzoeken

Bij de bespreking van de natuurlijke hulpbronnen van de wereld heeft de Werkgroep geen gelegenheid gehad om een aantal onderwerpen die wetenschappelijke vraagstukken betreffen, maar niet direct verband houden met de specifieke geanalyseerde gebieden, nauwkeurig te onderzoeken. De meeste van deze onderwerpen zijn van economische aard en de oplossingen ervoor vereisen de introductie van nieuwe benaderingen van internationale handel, kapitaalinvesteringen en monetaire vraagstukken.

Enkele van deze vragen hebben betrekking op de volgende problemen:

(a) De omvang en reikwijdte van de nieuwe productiesystemen en de bijbehorende infrastructuren die nodig zullen zijn om goederen en diensten beschikbaar te stellen op een schaal die toereikend is om een wereldbevolking te onderhouden die twee keer zo groot is als de huidige.

(b) In ontwikkelingslanden, waar het gemiddelde inkomen per hoofd van de bevolking ontoereikend is, moet dit worden verhoogd en tegelijkertijd de ongelijke verdeling worden verminderd en het probleem van de werkloosheid worden opgelost.

(c) In ontwikkelde landen zijn nieuwe systemen voor belastingheffing en industriële stimuleringsmaatregelen nodig om een verandering teweeg te brengen in de houding van zowel consumenten als producenten. Het doel moet de acceptatie zijn van een beleid van "energie- en materiaalbesparing", inclusief een verhoogde efficiëntie van het gebruik, een grotere beschikbaarheid van producten, recycling van materialen en een verhoogde maatschappelijke efficiëntie. Internationale ontwapening, die enorme hoeveelheden afval zou kunnen elimineren, is essentieel voor een dergelijk programma.

(d) In alle landen is, om grote crises te voorkomen, een zorgvuldige analyse nodig van de sociale en economische gevolgen van de stijgende kosten van energie en grondstoffen voor het wereldeconomische patroon. Deze analyses moeten rekening houden met een waarschijnlijke vertraging van de consumptie in de meer geïndustrialiseerde landen.

Het moet worden erkend dat de wereldeconomie, inclusief die van de geïndustrialiseerde westerse landen, momenteel tendensen vertoont die tegengesteld zijn aan de tendensen die nodig zijn voor de oplossing van de hierboven genoemde problemen.
Aanhoudende inflatie, werkloosheid, een tekort aan kapitaal en hoge kapitaalkosten maken het moeilijk om een rationeel investeringsplan te ontwikkelen voor de noodzakelijke langetermijnprojecten. Het feit dat dergelijke programma's

overheidsingrijpen vereisen, zorgt voor een extra moeilijkheid, omdat particuliere ondernemers zich doorgaans tegen dergelijk ingrijpen verzetten. Dergelijke problemen moeten dringend worden aangepakt; ze vereisen een mondiale, langetermijn- en interdisciplinaire aanpak.

Een andere reeks problemen betreft de biosfeer en het menselijk intellect. De psychologische en sociale schade die onze samenleving is toegebracht, is vooral in de grote stedelijke gebieden duidelijk zichtbaar: slechte aanpassing, afwijzing, depersonalisatie en overbevolking zijn de meest evidente verschijnselen. De mens heeft zich zozeer toegelegd op het construeren van steeds grotere en complexere kunstmatige systemen, dat het moeilijk is geworden om ze te beheersen. Het is zelfs onbekend hoeveel overbelasting onze geest en ons zenuwstelsel kunnen verdragen. Dit en andere problemen van biologische aard moeten zo snel mogelijk worden erkend en geëvalueerd. Ze vloeien voort uit onze verbondenheid met de biosfeer: het is daarom van cruciaal belang de complexiteit van de relaties tussen de mens en de rest van het biologische leven te begrijpen, te erkennen welke van deze relaties essentieel zijn, op welke manier ze door de mens worden getransformeerd en binnen welke veilige grenzen we ze nog kunnen veranderen.

Psycho-sociologische en biologische studies in deze richting moeten dringend worden overwogen, omdat de mens de basis van het leven op deze planeet al op macroscopisch niveau heeft veranderd.

De toename van de wereldbevolking en van de door de mens gebruikte ruimte hebben een kwalitatieve verandering teweeggebracht in de samenstelling en de dynamiek van de biosfeer. We kennen de gevolgen van deze onevenwichtigheden en van de beginnende – maar reeds merkbare – veranderingen in de natuurlijke genenpoel nog niet.

# *7. Wetenschap, technologie en institutionele implicaties*

Het doel van deze studie was om te onderzoeken in welke richting onderzoek en ontwikkeling kunnen bijdragen aan betere vooruitzichten voor een adequate voorziening van energie, grondstoffen en voedsel in de komende decennia. Onze conclusies geven hoop dat onderzoek en ontwikkeling, met aanzienlijke inspanningen en onmiddellijke beleidsbeslissingen, de grenzen van materiële groei kunnen verleggen en de mensheid meer tijd kunnen geven om dieperliggende politieke en sociale problemen aan te pakken. Zelfs hier vereisen complexe interacties echter een veel verfijnder en toekomstgerichter beleid dan momenteel in verschillende landen of internationale organisaties bestaat.

Hoewel onze taak in essentie bestond uit het beoordelen van wetenschappelijke en technologische opties, zijn we tot de conclusie gekomen dat deze op zichzelf onvoldoende zijn en zelfs geen effect sorteren. Deze conclusie zet ons ertoe aan enkele reflecties toe te voegen over de noodzaak van meer systematische en rationele benaderingen van politieke en bestuurlijke problemen. Kan een wetenschappelijke benadering immers wel effectief bijdragen aan de oplossing van sociale en institutionele, evenals materiële problemen?

Overheden, geconfronteerd met complexe problemen en verantwoordelijk voor grootschalige operaties in de dienstverlenende en sociale sector, zijn zich steeds meer bewust van de tekortkomingen van hun huidige beleid, procedures, instellingen en structuren. Terwijl overheden ernaar streefden technologische innovatie te stimuleren om economische groei te realiseren, deden ze te weinig om de juiste soort verandering te bevorderen in de dienstverlenende en sociale sector, waar marktmechanismen weinig tot geen stimulans boden.

Wat technologie betreft, bestaat er algemene overeenstemming dat de ontwikkeling ervan op zich niet slecht is geweest en zelfs enorm heeft bijgedragen aan de verbetering van de levensstandaard van de mens. De steeds talrijkere bijproducten van technologie zijn echter vaak ongewenst en worden niet algemeen

gewaardeerd. Vervuiling, milieuschade en een afnemende werktevredenheid zijn bijvoorbeeld grotendeels te wijten aan het feit dat we de noodzaak van technologiebeheer in het algemeen belang negeren en niet proberen de sociale, culturele en economische gevolgen van voorgestelde technologische ontwikkelingen te voorzien. Zoals de ministers van Wetenschap van de OESO in 1975 tijdens hun vijfde bijeenkomst al aangaven, moet technologie in de toekomst maatschappelijk aanvaardbaar zijn. Dat is makkelijk gezegd, maar waar zijn de mechanismen en instellingen om een dergelijk beleid mogelijk te maken? Meer specifiek wezen dezelfde ministers van Wetenschap op de noodzaak van onderzoek naar het proces van het bestuur zelf.

In de volgende paragrafen bespreken we de bovengenoemde problemen en maken we onderscheid tussen problemen op nationaal en internationaal niveau.

## De noodzaak van innovatie in de procedures en structuren van de overheid

De problemen met betrekking tot het beheer van natuurlijke hulpbronnen, die in dit rapport worden besproken, vertegenwoordigen nieuwe gebieden waar overheidsingrijpen noodzakelijk is. De vereiste beheersrol op dit gebied komt bovenop de verantwoordelijkheden die overheden geleidelijk aan hebben overgenomen in de dienstensector, waaronder onderwijs, gezondheidszorg, communicatie en transport. Deze sectoren zijn, samen met de publieke diensten zelf, belangrijke investeringsgebieden geworden. Deze rol omvat drie belangrijke fasen: (1) het formuleren van strategische doelstellingen, (2) het vaststellen van prioriteiten, (3) planning en uitvoering. Het effectieve gebruik van middelen hangt grotendeels af van de prestaties van de instellingen die verantwoordelijk zijn voor elk van deze drie fasen. Deze instellingen, hoewel ze in staat zijn te voldoen aan de behoeften van een vroeger en eenvoudiger tijdperk, zijn in veel opzichten niet in staat snel en effectief te reageren op nieuwe aspiraties en op de veranderende, complexe en onderling samenhangende problemen en grootschalige werking van vandaag.

De schaal is hierbij van bijzonder belang. De middelen die overheden inzetten voor sociale en economische ontwikkeling, evenals voor het bestuursproces zelf, vertegenwoordigen een aanzienlijk deel van het BNP. Naarmate de omvang, reikwijdte en complexiteit van overheids-

activiteiten toenemen, groeit ook de vraag naar middelen. Noch de overheidsuitgaven, noch het openbaar bestuur kunnen oneindig blijven groeien. Daarom zijn veel regeringen bezorgd over hoe ze zowel in de beleidsplanning als in het beheer efficiënter en zuiniger kunnen werken. De structuren en procedures van overheden vormen dan ook belangrijke verbeterpunten, waarvoor experimenten, internationale uitwisseling van ervaringen en hoogwaardig onderzoek nodig zijn.

## De formulering van nationale doelstellingen

Regeringen hebben er altijd naar gestreefd hun doelstellingen te formuleren in termen die begrijpelijk zijn voor de kiezers en wetgeving te ontwikkelen die gericht is op het bereiken ervan. Maar al te vaak zijn deze doelstellingen oppervlakkig en gericht op de korte termijn, met als doel verkiezingsbeloften na te komen. Bovendien worden doelstellingen vaak geïsoleerd geformuleerd, zonder rekening te houden met de invloed die het bereiken van een bepaald doel heeft op andere doelen. Gezien de wisselwerking tussen hedendaagse problemen kan een conflict tussen doelstellingen zeer reëel zijn. Succes bij het bereiken van een bepaald doel kan leiden tot een netto verslechtering, vaak subtiel en moeilijk meetbaar, van de totale nationale situatie door een negatieve invloed op andere beleidsdoelstellingen. Dit is met name duidelijk bij wetenschappelijke en technologische activiteiten, waar onderzoek in bepaalde sectoren positieve of negatieve neveneffecten in andere sectoren kan hebben. Er zijn talloze voorbeelden van dit probleem. Veel menselijke activiteiten hebben een complexe impact op het klimaat, wat op zijn beurt de landbouwproductie en uiteindelijk de beschikbaarheid van voedsel voor de mensheid beïnvloedt. Een ander voorbeeld van verschillende interacties tussen problemen is DDT.

Het insecticide werd in de jaren 40 geïntroduceerd om veel ziekten te bestrijden die door schadelijke insecten werden veroorzaakt. Het slaagde erin malaria in veel regio's uit te roeien, maar pas een paar jaar geleden, na ongeveer 30 jaar gebruik, werd ontdekt dat DDT zich ophoopt in levende organismen en via de voedselketen op de mens wordt overgedragen, wat ernstige gezondheidsproblemen veroorzaakt. Een verdere moeilijkheid bij het formuleren van nationale doelen vloeit voort uit veranderingen in het waardensysteem en de aspiraties van individuen en samenlevingen. Overheden hebben bijvoorbeeld over het algemeen

te laat gereageerd, En in sommige gevallen, zonder de nodige overwegingen, werd er geen gehoor gegeven aan de publieke bezorgdheid over de verslechtering van het milieu. Pas toen duidelijk werd dat het grootste deel van het publiek, en niet slechts een "fanatieke minderheid", zich zorgen maakte, werd er actie ondernomen. Ook het onderwijssysteem heeft in veel gevallen blijk gegeven van aanzienlijke traagheid en onhandigheid in de reactie op de groeiende publieke vraag naar onderwijskundige tegenstand en op het gevoel onder jongeren dat veel van wat ze leren grotendeels irrelevant is voor hun behoeften en de problemen van de huidige wereld.

Het probleem is hier het waarborgen van een continue formulering en herziening van nationale doelen, rekening houdend met veranderende waarden en aspiraties. In weinig landen wordt dit probleem op een andere manier aangepakt dan via partijpolitieke programma's, die niet altijd de meest rationele plek zijn voor het formuleren van degelijk nationaal beleid. Doelformulering en waardebepaling hebben uiteraard onontkoombare politieke implicaties, maar er zou veel gedaan kunnen worden om een rationele basis te creëren die het afwegen van opties en de politieke besluitvorming realistischer maakt.

## De verantwoordelijkheden van wetenschappers

Er moet meer aandacht worden besteed aan de betrokkenheid van wetenschappers en de wetenschappelijke methode, zowel bij de formulering van alternatieve beleidsmaatregelen als bij strategieën voor het beoordelen van de langetermijngevolgen – economisch, cultureel, sociaal en politiek – en ook bij het identificeren van mogelijke conflicten en synergieën tussen verschillende doelstellingen. Om deze betrokkenheid werkelijk betekenisvol te maken, moeten wetenschappers zich veel bewuster worden van de relatie tussen hun activiteiten en de problemen van de samenleving, en de complexe aard en beperkingen van het politieke proces leren begrijpen. Wetenschappers en technologen moeten als burgers deelnemen aan het publieke debat zonder onverschillig te staan tegenover de politieke, sociale en economische problemen die hun werk kan oplossen. Een bewuster participatie kan en moet nu worden gestimuleerd..

Wetenschappers en technologen hebben ook een maatschappelijke verantwoordelijkheid om het publiek voor te lichten en te informeren over belangrijke problemen van algemeen

belang. Wetenschappers slagen er vaak niet in om de termen van een probleem helder en bondig te formuleren. Ze gebruiken vaak te specialistische terminologie die voor de meeste mensen onbegrijpelijk is, of ze hanteren een te strikt wetenschappelijke benadering. In sommige opvallende gevallen, zoals de kwestie van kernenergie of die van eencellige eiwitten voor voedingsdoeleinden, verliep het debat tussen experts soms zo emotioneel dat het grote publiek de indruk kreeg dat het zinloos was om deze besluitvormingsproblemen met een wetenschappelijke methode te benaderen.

## De noodzaak van geïntegreerde planning

Voor het publiek roept de term 'planning' vaak de associatie op met een rigide vaststelling van economische doelstellingen, zelfs wanneer het slechts een indicatie van intentie betreft. In werkelijkheid is planning een stapsgewijze aanpak om realistische doelstellingen te bereiken. Alle georganiseerde activiteiten vereisen een zekere mate van planning, die niet per se formeel hoeft te zijn. Binnen overheden kan planning variëren van een schets van opeenvolgende stappen naar een gewenst doel aan het ene uiterste, tot een zeer complex en formeel systeem van het beoordelen van mogelijkheden op basis van uitgebreid overleg, het afwegen van alternatieven en het vaststellen van doelstellingen of richtlijnen aan het andere uiterste.

Tot nu toe is de meeste planning strikt sectoraal geweest, met onvoldoende aandacht voor de interacties tussen de verschillende verticale plannen. Er is behoefte aan integratie van sectorale plannen en aan de invoering van geïntegreerde planningsmethoden. Een energiebeleids-programma kan bijvoorbeeld tegenwoordig niet alleen gebaseerd zijn op economische en technische overwegingen. Alle gerelateerde effecten op het milieu, de gezondheid, het klimaat en de inherente veiligheidsimplicaties moeten in aanmerking worden genomen.

Op gebieden waar technologische ontwikkeling een belangrijke factor is, zoals bijvoorbeeld energie- of materiaalbeleid, is een toekomstgerichte blik bijzonder noodzakelijk. Energie is een typisch beleidsgebied waar het soms wel tien jaar kan duren voordat de resultaten van hervormingen of specifieke overheidsbeslissingen volledig zichtbaar zijn. Gedurende zulke perioden is het moeilijk te voorspellen wat de toekomstige behoeften van de samenleving zullen zijn of op welke waarden deze gebaseerd zullen zijn. Planning op basis van een toekomstgerichte blik is in een dergelijk gebied dan ook van groot belang. Het is moeilijk om met zekerheid

één wenselijke toekomst te voorspellen  Daarom kan het nodig zijn om alternatieve toekomstscenario's en opties voor de lange termijn te overwegen, die in de loop der jaren voortdurend kunnen worden herzien, als leidraad voor een preciezer beleid op de middellange en korte termijn.

## Technologiebeoordeling en -prognoses

Gezien de ontwikkeling van complexe en potentieel gevaarlijke technologieën, de honderden nieuwe chemische producten die jaarlijks in de biosfeer worden geïntroduceerd en het maatschappelijk ontwrichtende karakter van veel technologieën, is er behoefte aan instellingen die onderzoek verrichten om de sociaaleconomische impact van technologie te beoordelen.

Tegenwoordig bestaan er nuttige methoden, zoals technologische prognoses en technologiebeoordelingen, om de evolutie van technologieën te voorspellen en hun neveneffecten te evalueren. Correct gebruik van deze methoden zou ons in staat moeten stellen de spanningen die ontstaan door de introductie van nieuwe technologieën te voorzien en te verminderen. Maatschappelijke waarden en hun ontwikkeling moeten in acht worden genomen, economische en maatschappelijke waarden moeten met elkaar worden verzoend en korte- en langetermijndoelen moeten worden overwogen. Deze technieken moeten verfijnder worden, zodat ze rekening kunnen houden met sociale en culturele tradities. Ze moeten ook flexibeler en gevoeliger zijn, zodat ze opkomende trends kunnen evalueren die anticiperen op de discontinuïteiten in technologie, gewoonten en cultuur die kenmerkend zijn voor ons tijdperk. Dit zijn de elementen van een meer rationele en wetenschappelijke benadering voor het definiëren van een wetenschaps- en technologiebeleid en voor het verbeteren van het algemene besluitvormingsproces.

In sommige landen zijn instellingen voor technologiebeoordeling opgericht, maar ook op internationaal niveau is actie nodig, omdat de controle op nationaal niveau voor diverse problemen, zoals milieubescherming, over het algemeen ontoereikend is.

Een ander belangrijk aandachtspunt is de ontwikkeling van geschikte sociale indicatoren die het mogelijk maken om kosten-batenanalyses uit te voeren in sociaaleconomische in plaats van engere economische termen.

Bij technologie-evaluatie is het ook belangrijk om geschikte sociale indicatoren beschikbaar te hebben om de elementen te meten

die de levensstandaard in verschillende soorten samenlevingen kenmerken. Dit maakt het mogelijk om op wereldschaal inzicht te krijgen in de waarde van de resultaten die met een bepaalde technologie behaald kunnen worden.

## De korte termijn versus de lange termijn

Een van de fundamentele tekortkomingen van bestaande politieke systemen is hun onvermogen om problemen op de lange termijn aan te pakken. In westerse democratieën worden bijvoorbeeld zowel regerings- als oppositiepartijen door de relatief korte verkiezingscyclus gedwongen hun aandacht te richten op directe problemen om aan de macht te blijven of te komen. Tot voor kort bleek dit niet al te desastreus. De snelle veranderingen van tegenwoordig betekenen echter dat ernstige problemen zich nu sneller ontwikkelen dan een paar jaar geleden. Daardoor ontstaan er vaak crises die (waaronder de energiecrisis) hadden kunnen worden voorzien en op een preventieve manier hadden kunnen worden aangepakt.

Daardoor lijken we in een periode van crisisregeringen terecht te zijn gekomen, die van de ene noodsituatie naar de andere strompelen, tijdelijke lapmiddelen improviseren, maar zelden een fundamenteel begrip van de situatie of een permanente oplossing bereiken. Dit is wellicht een inherent kenmerk van het democratische systeem, maar wel een kenmerk dat moet worden aangepakt door de ontwikkeling van nieuwe planningsstructuren die een continue aanpak garanderen. Ondanks de politieke aantrekkingskracht van kortetermijnoverwegingen, kan het nodig zijn ministers aan te stellen met een speciale verantwoordelijkheid voor langetermijnontwikkelingen, ondersteund door teams van experts.

De voordelen van het betrekken van langetermijnoverwegingen bij besluitvorming mogen het democratische karakter van overheidsstructuren niet ondermijnen. Een belangrijk onderzoeksgebied zou daarom kunnen zijn het onderzoeken van structuren of processen die deze afwegingen optimaliseren. Beslissingen met langetermijngevolgen zouden vermoedelijk een groter aantal mensen moeten betrekken en over een langere periode moeten worden genomen dan nu het geval is, om een grondigere analyse, debat en mogelijke oplossing van conflicten mogelijk te maken.

## Structurele problemen

Een van de kenmerken van de situatie is het grote aantal aandachtsgebieden van de overheid dat zich uitstrekt over het hele spectrum van departementale organisatie binnen de overheid. Stedelijke problemen, de impact van technologische ontwikkeling, natuurlijke hulpbronnen en energievoorziening en -tekorten; dit zijn enkele van de meest voor de hand liggende voorbeelden waarbij veel afzonderlijke departementen en agentschappen van de overheid verantwoordelijk zijn voor één aspect, maar geen enkele voor een geïntegreerd nationaal beleid. Het probleem is in wezen structureel: hoe kunnen de activiteiten van een aantal overheidsdepartementen worden gepland en op elkaar afgestemd om gezamenlijke programma-doelstellingen te bereiken? We bevinden ons namelijk in een situatie waarin de problemen waarmee de samenleving wordt geconfronteerd, voornamelijk horizontaal en interactief van aard zijn, terwijl de overheidsactiviteiten in wezen verticaal zijn georganiseerd, zonder de adequate personeelsstructuur die gebruikelijk is bij grote industriële bedrijven. De koppeling tussen de sectorale aanpak van de ministeries en hun coördinatie binnen het algemene overheidsbeleid is doorgaans de taak van de premier, het kabinet of een planningsinstantie. In veel gevallen wordt de daadwerkelijke coördinatie echter bewerkstelligd door de minister van Financiën, met als gevolg dat het evenwicht wordt bereikt via het begrotingsmechanisme in plaats van via diepgaandere en langetermijnbeleidsoverwegingen.

Natuurlijk bestaat er altijd nog het instrument van interdepartementale commissies, maar al te vaak (en met name op het gebied van onderzoek en ontwikkeling) blijken dit bijeenkomsten te zijn van vertegenwoordigers van sectorale belangengroepen die niet bereid zijn de huidige activiteiten serieus te bevragen.

Een relevant en innovatief voorstel betreft de bredere rol die ministers verantwoordelijk voor wetenschaps- en technologiebeleid zouden moeten vervullen. Zij zouden ervoor moeten zorgen dat de basiselementen van het besluitvormingsproces rationeel en wetenschappelijk worden uitgevoerd, rekening houdend met alle complexe variabelen en hun onderlinge verbanden. Een minister van Wetenschap en Technologie zou fungeren als horizontale coördinator voor wetenschapsbeleid en nauw samenwerken met andere ministers en de regering. Hij zou daarmee een belangrijke rol spelen bij de formulering van regeringsstrategieën en de daaruit voortvloeiende langetermijnplanning.

## Het probleem of de consensus van de publieke opinie

Naarmate de overheidsactiviteit toeneemt, wordt het apparaat zwaar en lijkt het afstandelijk, onmenselijk en ongevoelig voor de behoeften van het individu. In een democratisch systeem speelt de bureaucratie een bijzondere rol in het waarborgen van stabiliteit en continuïteit, terwijl politieke regeringen komen en gaan. Hoewel intelligent en toegewijd, zijn de leden ervan niettemin gewend om die stabiliteit te bieden en reageren ze daardoor onvermijdelijk traag op veranderingen. De omvang van het ambtenarenapparaat draagt bij aan inertie.

De effectiviteit en zelfs de relevantie van het politieke proces zelf worden ook in twijfel getrokken, omdat men denkt dat, ongeacht welke regering aan de macht is, veel van haar pogingen om nieuw beleid door te voeren zullen worden gedwarsboomd door de weerstand en het eigenbelang van het systeem. Er is inderdaad een groeiend besef dat de wetgevende macht, met haar traditionele procedures en beperkte toegang tot geanalyseerde informatie, in een zwakke positie verkeert om te overleggen met de uitvoerende macht, die volledige toegang heeft tot informatie, de middelen om deze te verwerken, en veel deskundig advies.

Deze en andere problemen, zoals de machtsconcentratie en het gebrek aan consensus, dragen bij aan een desillusie met het politieke proces bij bepaalde bevolkingsgroepen in veel landen en aan apathie bij anderen die zich machteloos voelen om de besluitvorming te beïnvloeden, die hun belangen kennelijk negeert. Daarom is het noodzakelijk om te experimenteren en te innoveren in de processen om publieke consensus te bereiken. Er hebben zich immers diverse publieke afwijzingen van industriële processen of producten voorgedaan, voornamelijk vanwege milieuvervuiling. In andere gevallen heeft het gebrek aan algemene consensus over de ontwikkeling van bepaalde technologieën geleid tot vertragingen en negatieve economische gevolgen (bijvoorbeeld het debat over kerncentrales in verschillende landen). Het is belangrijk om op lokaal niveau draagvlak te creëren voor de bouw van kerncentrales, traditionele energiecentrales, olieraffinaderijen, luchthavens en snelwegen. Volledige informatievoorziening en een open discussie over de gevolgen van voorgestelde alternatieven of het afzien daarvan zijn essentieel om, zoals in dit rapport wordt besproken, langetermijnstrategieën met betrekking tot energie, grondstoffen en voedsel succesvol te kunnen implementeren. De vooruitzichten voor kern-

energie of voor niet-conventionele eiwitbronnen zijn typische voorbeelden van vergelijkbare problemen. Veel maatschappelijke vindingrijkheid en innovatie zullen nodig zijn.

Een effectief informatiesysteem moet de inherente complexiteit van de meeste hedendaagse problemen begrijpelijk maken voor het publiek. Deze complexiteit zal aantonen dat situaties niet altijd zwart-wit zijn. Beslissingen hebben niet alleen directe gevolgen in hun eigen sector, maar ook talrijke indirecte gevolgen die de economische, productieve en sociale wereld, evenals het milieu, beïnvloeden. Men moet ook uitleggen dat elke materiële activiteit interacties met andere activiteiten teweegbrengt en de externe omgeving soms op macroscopische wijze verandert. Daarom moeten we institutionele kanalen vinden om tot consensus te komen. Hierbij moeten universiteiten, onderzoeksinstellingen, het bedrijfsleven, de dienstensector en, op een breder niveau, groepen die de publieke opinie vertegenwoordigen, regelmatig worden betrokken, zodat alle bevoegde partijen bij het besluitvormingsproces worden ingezet.

Een voorbeeld dat gedetailleerde vermelding verdient, is de methode die de Zweedse regering in 1974-1975 gebruikte om te beslissen over de productie en het gebruik van energie, met name kerncentrales. Alle aspecten van het probleem werden breed besproken; de positieve en negatieve gevolgen van elke optie werden geanalyseerd en een groot aantal burgers werd erbij betrokken. Geen enkele oplossing werd uitgesloten en, zonder al te veel nadruk te leggen op kernenergie, was het resulterende beleid gericht op enige ontwikkeling van kernenergie. Desondanks behaalde de oppositie succes bij de verkiezingen van 1976 in Zweden, grotendeels dankzij intensieve anti-kernenergiepropaganda, en dit ondanks het feit dat zij geen concrete strategie voor alternatieve energiebronnen presenteerde.

Aangezien het energiebeleid direct van invloed is op de verwezenlijking van de belangrijkste nationale sociale doelen, waaronder volledige werkgelegenheid, veiligheid, sociale gelijkheid en een gezonde werkomgeving, kan het energieprobleem in dat land nog steeds als een open vraag worden beschouwd. De Zweedse ervaring laat zien in hoeverre de publieke opinie beïnvloed kan worden door emotionele factoren; daarom moet de bewustwording van problemen zowel diepgaand als breed worden aangepakt door middel van een continue aanpak die een duidelijke en expliciete weergave biedt van de gevolgen die verbonden zijn aan alle mogelijke energieopties.

# De noodzaak van beleidsonderzoek

Naarmate wetenschap en technologie de aard van de samenleving veranderen en de economische welvaart toeneemt, wordt het probleem van planning, controle en beheer steeds complexer. Toch, zoals Dror het stelt: "terwijl het menselijk vermogen om de *omgeving*, de *samenleving* en de *mens* vorm te geven *snel toeneemt,* blijven de beleidsmogelijkheden om deze mogelijkheden te benutten gelijk". Daarom is onderzoek naar beleidsproblemen dringend nodig om een evenwicht te vinden tussen onderzoek en ontwikkeling die onze materiële mogelijkheden vergroten.

Beleidswetenschap is een relatief nieuw en nog niet volledig afgebakend vakgebied, dat zich kan ontwikkelen in reactie op behoeften zodra deze zich voordoen. Het streeft er onder meer naar om de besluitvorming, geïntegreerde planning en beleidsvorming in het algemeen te verbeteren.

Beleidswetenschap probeert op een alomvattende manier om te gaan met de bijdragen van systematische kennis, structurele rationaliteit en de wetenschappelijke methode aan het ontwerp van sociale en politieke systemen, door kennis uit vele disciplines te integreren. Het is bedoeld als hulpmiddel voor, en nooit als vervanging van, de politieke besluitvormer door objectieve gegevens te verstrekken, feiten en gebeurtenissen te analyseren en de relatieve betekenis van verschillende variabelen met betrekking tot alternatieve beslissingen en hun waarschijnlijke gevolgen te verduidelijken. Het is in essentie een niet-technocratische benadering, omdat het de bevoegdheden van de besluitvormer respecteert, die in zijn uiteindelijke beslissing zijn eigen analyse zal opnemen, gebaseerd op persoonlijke ervaring, waardeoordelen, motivatie en gevoel voor politieke praktische overwegingen. Als voorbeelden kunnen we hier slechts enkele onderwerpen schetsen waarop beleidsonderzoek zich zou kunnen richten:

Individuele en participatieve besluitvorming;
snelle maatschappelijke transformatie;
conflicten tussen doelstellingen;
systematische evaluatie van het succes en falen van beleid uit het verleden;
modellen van regionale en mondiale trends;
gerichte sociale verandering (milieugedrag);
het ontwerpen en presenteren van alternatieve toekomstscenario's;
problemen van nationaal en regionaal bestuur;

Analyse en herontwerp van het democratische proces;
de balans tussen centralisatie en decentralisatie;
criteria voor institutionele innovatie;
institutioneel ontwerp en creativiteit;
het leerproces.

Elementen voor de ontwikkeling van een dergelijke beleidswetenschap bestaan al, maar de ontwikkeling van dergelijke activiteiten tot een echte toegepaste wetenschap kent vele moeilijkheden. Een van de belangrijkste is het opzetten van organisch, multidisciplinair werk, waarbij de dogma's en traditionalisme van afzonderlijke, gevestigde disciplines moeten worden losgelaten ten gunste van een nieuwe synthese. Bovendien zou een dergelijke ontwikkeling het onderscheid tussen fundamenteel en toegepast onderzoek vervagen, hoewel moet worden toegegeven dat de ontwikkeling van proefprojecten bijzonder riskant zou zijn. In de natuurwetenschappen, net als in de techniek, leidt slechts een fractie van het gestarte onderzoek tot succesvolle productie. Veel veelbelovende onderzoekslijnen blijken intellectuele doodlopende wegen te zijn; andere leveren weliswaar een bijdrage aan de kennis, maar worden om economische en andere redenen uitgesloten van verdere ontwikkeling; veel succesvolle ontwikkelingen vinden geen markt. Het zou te veel gevraagd zijn om van beleidsonderzoek, hoe briljant ook, een beter resultaat in de praktijk te verwachten. In de technologie zijn mislukkingen vaak kostbaar, maar in menselijk opzicht zijn ze zelden rampzalig. De proefinstallatie of prototypefase dient er juist toe om kinderziektes te overwinnen en mislukkingen op productieschaal te minimaliseren. Proefexperimenten in politiek of sociaal onderzoek zijn soms, maar niet altijd, mogelijk. Dergelijke experimenten vereisen continue evaluatie en bijsturing. Ze moeten de kans krijgen om zich te ontwikkelen en niet onnodig te mislukken, niet alleen vanwege het menselijk leed dat ermee gepaard kan gaan, maar ook omdat een dergelijke mislukking waardevolle en meer verfijnde toepassingen kan belemmeren die wellicht uit een tweede poging zouden voortkomen.

## Technologie in een kader van onderlinge afhankelijkheid. De benadering van wereldwijd beleid

De onderwerpen die in de voorgaande paragrafen zijn besproken, stonden in de context van nationale overheden. Internationale aspecten zijn echter

van toenemend belang naarmate de onderlinge afhankelijkheid tussen landen steeds duidelijker zichtbaar wordt. In veel gevallen blijken externe gebeurtenissen en drukfactoren inderdaad een dominante rol te spelen bij de nationale beleidsvorming, zoals de recente energieproblemen hebben aangetoond. Een disfunctioneren van het mondiale monetaire systeem kan ernstige gevolgen hebben voor individuele landen en buiten hun controle liggen; wereldwijde inflatietrends zijn besmettelijk en steeds moeilijker te beteugelen met traditionele methoden binnen afzonderlijke landen. Technologie draagt ook bij aan de dominantie externe factoren. Militaire technologie heeft een niveau van verfijning en hoge kosten bereikt dat alleen de supermachten zich daadwerkelijk kunnen veroorloven, wat leidt tot een polarisatie van het nationale beleid van andere landen. Kleine landen, waaronder enkele van de meest ontwikkelde en progressieve, hebben nu weinig manoeuvreerruimte. Ondanks de verklaringen van politici, "lekt de nationale soevereiniteit" weg, zoals Stanley Hoffman het heeft verwoord..

Het probleem van de onderlinge afhankelijkheid tussen landen heeft grote gevolgen voor wetenschap en technologie, zoals blijkt uit de situatie rond energie en natuurlijke hulpbronnen. Het bezit van technologie en knowhow is van fundamenteel belang geworden. Technologie kan in feite worden beschouwd als een hulpbron op zich, die steeds vaker het object van internationale handel zal zijn, waardoor geavanceerde landen hun financiële tekorten, die ontstaan door de noodzaak om grondstoffen en andere goederen te importeren, kunnen compenseren.

In dit verband moet aandacht worden besteed aan het probleem van een snelle en efficiënte technologieoverdracht naar ontwikkelingslanden. Deze overdracht moet zodanig plaatsvinden dat er binnenlandse productie ontstaat, die voldoet aan de lokale behoeften en werkgelegenheid creëert. Naast de technologieoverdracht is het noodzakelijk om te kijken naar de opleiding en training van personeel en de voortdurende verbetering van hun vaardigheden. Het doel is dus om te voldoen aan het bekende Chinese spreekwoord: "Als je me een vis geeft, eet ik vandaag; als je me leert vissen, heb ik mijn hele leven te eten."

De overdracht van technologie vindt over het algemeen ongepland plaats, door methoden aan te bieden die al in de geïndustrialiseerde landen worden toegepast. Ontwikkelingslanden moeten echter technologie aangeboden krijgen die ze kunnen beheren, assimileren en verspreiden. Dit vereist dat rekening wordt gehouden met de historische, sociale en culturele omstandigheden

in die landen. Op deze manier hoeft de ontwikkeling die volgt niet per se een imitatie te zijn van de ervaringen van geïndustrialiseerde landen. Er zijn daarom specifieke inspanningen op het gebied van onderzoek en ontwikkeling nodig om bestaande technologie aan te passen of opnieuw te ontwikkelen in samenwerking met de landen die deze technologie gaan gebruiken. Daarom mag de verantwoordelijkheid voor het beleid inzake technologieoverdracht niet alleen bij particuliere bedrijven liggen.

Onze studies naar voedsel en landbouw, materialen en energie zijn wereldwijd uitgevoerd, omdat het duidelijk is dat de technologische bijdrage aan het oplossen van problemen op deze gebieden niet per land kan worden bekeken. De welvaart van de geïndustrialiseerde landen hangt af van de beschikbaarheid van grondstoffen en energie; dergelijke hulpbronnen moeten in veel gevallen uit het buitenland worden geïmporteerd en in sommige gevallen zijn hoogontwikkelde landen bijna volledig afhankelijk van import uit andere ontwikkelde en ontwikkelingslanden. Aan de andere kant bevinden de hongerigen in de wereld zich ver van de landen die een overschot aan landbouwproducten hebben en in veel gevallen geen geld hebben om deze te betalen. Problemen op de drie gebieden waarin wij geïnteresseerd zijn, kunnen alleen worden opgelost door middel van mondiaal beleid.

Wanneer we ons echter tot internationale instanties wenden, is de situatie nog ontmoedigender. Internationale organisaties, die moeite hebben om consensus te bereiken tussen landen in zeer verschillende ontwikkelingsstadia, met uiteenlopende omgevingen, tradities en belangen, bevinden zich in een zeer ongunstige positie om een mondiaal perspectief te bieden of alternatieve modellen voor wereldwijde ontwikkeling aan te reiken. Wat nodig is, is een creatief antwoord, dat wil zeggen een oplossing die afwijkt van de huidige praktijk.

Het probleem van het creëren en verkrijgen van draagvlak voor wereldwijd beleid is ernstig en urgent. Er bestaat de hoop dat een doelgerichte en systematische aanpak, gebaseerd op de wetenschappelijke methode, een aanzienlijke impact kan hebben.

We concluderen daarom door onze overtuiging te herbevestigen dat de werkelijke grenzen aan groei niet zozeer wetenschappelijk en technologisch van aard zijn, maar eerder politiek, sociaal en bestuurlijk. Deze kunnen met inspanning en goede wil worden overwonnen. Nog dieper liggen mogelijk de beperkingen die inherent zijn aan de menselijke natuur, maar de beschouwing daarvan valt buiten het bestek van deze studie.

A
Aardgas 29-33, 98, 131
--vloeibaarmaking 33
--verspilling 33
Aardkorst 113, 121, 124
Aardmantel, warmte opgeslagen in 72
Aardolie 123, 128
Adrano Zonne-energiecentrale 64
Aerosolsprays 210
Africa 96, 107
Afval 73-5, 145, 212-4
--landbouw 164-6
--industrieel 118
--bronnen 213
Afval voor energie productie 73-5
Afvalmaterialen 136
Afvalpreventie 125
Afvalprobleem 212-4
Afvalvermindering 212-3
Afvalwater-verwerking 75
Alcohol als motorbrandstof 65-7, 89-90
Aluminium 134, 138, 140
Aluminiumproductie, tussenproducten
--en inputs 141-3
*Amaranthus* 197
Argentinië 95
Auto-efficiëntie 16-7
Azië 96, 107
B
*Bacillus thuringiensis* 183
*Basella* 197
Batterijen 8, 90-1, 92, 101
Beleidsonderzoek 229-30
Beleidswetenschap 229-30
Benzine 89
Bergius-proces 34, 36
Besluitvorming 3, 4, 101, 226-29
Bestrijdingsmiddelen 184, 191
Bevolkingsbeheer 160
Bevolkingsgroei, xi, 1, 2, 75, 95, 103 --
155, 157-9, 160, 181, 194, 202, 207
Biogas 36
Biogasinstallaties 76
Biologische omzetting van zonne-
-energie 59-60, 65-6
Biologische studies 218
Biosfeer 218
Bitumenbronnen 40
BNP en energieverbruik 12
Bodembehoud 175
Boomplantprogramma's 76
Brandhout 75-6, 98
Brandstofcellen 83, 91-2
Brandstofverbruik 16-7
Brayton-cyclus 92
Brazilië 65, 67,
Broeikaseffect 210
Bruinkool, Hydro-vergassing van 36
C
Cadmiumsulfide-cel 61
Canada 24, 94, 169
Centralisatie versus decentralisatie 21
Chemische industrie 28
China 12, 76, 95, 161, 188
Chroom 123
CO2-acceptor 36
Commerciële sector, energiebesparing 17
Condensatiemethoden 22
Continentaal plat 32
Corrosie 136
Cryoliet 134
D
DDT 221
Defensie-uitgaven 2
Dieet 168-9
Dieren 197
Dieselmotor 17
Dode Zee-plant 63
Duitsland 34, 36, 94
Duurzaamheid van goederen 136
Duurzame
--energie 8,9
--ooit energie van kernfusie ? 55
--goederen/materialen 136
--landbouw 167
--vangst van zeevis 199

E
EEG 12, 64, 94
Efficiëntie 6, 20, 21, 79
Egypte 188
Eiwit
-uit voedergewassen 200
-uiteencellige organismen 201
Eiwit-inname 168-9
Eiwitgehalte 156
--eiwitten van 200
Eiwittekort 168
Elektrische energie 81-4, 212
--opwekking 81
--rendement van de opwekking 82
--"topping" of "bottoming" cycli 82
---transmissie en distributie 83
--opslag van 84
Elektrische voertuigen 90, 92

Elementen
--gemiddelde hoeveelheid 121
--opgelost in zeewater 125
--in de aardkorst 121, 124
--schaars 128-31
--specifieke mineraliseerbaarheid 121
Energie 6-101
--en materialen 137-41
--conclusies en aanbevelingen 96-101
--vormen van 6
--impact op het klimaat 208-9
--interacties met landgebruik 17, 21
--onderlinge afhankelijkheid met
--voedsel en grondstoffen 214-6
--aard en kwaliteit van 6
--primaire bronnen 6
--productie en consumptie 6
--terminologie 6
--afval 14
--zelfvoorziening 94
Energieanalyse 140
Energiebehoefte
--voor basisproducten 138
--voor koperproductie 139
--voor materiaalproductie 139
Energiebeleid 213, 217, 223, 228
Energiebesparing 11-26, 96, 97, 140, 213
-- in industriële processen 15
Energiebronnen 26-80, 98
--nieuwe 8-11
--niet-conventioneel 77-80, 99
--niet-fossiel 42-80
Energiecentrale, koelalternatieven
23
Energiecentrales
--tegendruk 22
--condensatie 22
Energieconversie, -opslag en
--transport 101
Energiecrisis 3, 34, 42, 59, 96
Energieopslag 64, 66, 90-1, 92
Energieopwekking 21
Energieprijzen 10
Energieproblemen
--en voedsel 185-8
--lange termijn 101
--regionale implicaties 93-6
--wereld 10
--landbouw 188
--commerciële sector 17, 20
--industriële landen 15
--industrie 15-6
--beleid voor 11, 14
--residentiële sector 17, 20
--transportsector 16-9
Energiesituatie, wereld 98
Energiesystemen
--nieuw 10
--secundair 80-93
Energieverbruik 110-11, 124, 132, 146
--verdeling 14
--groeisnelheid 8-9, 27
--toename in 8-9
--*per hoofd van de bevolking* 8, 11-12, 14
--wereld 6-8
Energieverspilling 10, 14, 97
Energievoorziening 3-5, 10
Energievraag 6-8, 11-26, 93-6
--groei in 8, 11, 24-5
Ertsafzettingen 107-10
Ertsen
--laagwaardig 1 34
--minerale ertsen 112-3
Ertsverwerking 132-4
Ethanol 66, 67, 89
--hydraat 67
*Euphorbia Tirucalli* 67
Europa 94
Extra-territoriale wateren 127
F
Fermentatieprocessen 65, 75-6
Fijnstof 28
Filipijnen 191
Fischer-Tropsch-synthese 34, 35
Fosfaatknollen 126
Fosfor
--als landbouwgrondstof 180-1
--verbruik 181, 214
Fossiele brandstoffen 8, 10, 26-42, 98, 112
--kosten van de exploitatie van
- hulpbronnen 30
--milieuproblemen 27-8
--geschatte hulpbronnen 26
--niet-traditionele 98
--productie en consumptie 27
--zie ook Steenkool; Gas; Aardgas; Olie
Fotosynthese 170, 189, 210
Fotovoltaïsche cellen 60-1
Frankrijk 12, 49, 94

G
Gas 29-33, 96, 115, 131
-ontdekkingen 32
-reserves 29-30
-zie ook Aardgas
Gasohol 67
Gebouwen, energiebalans 17, 20
Genetische manipulatie 182
Geologisch onderzoek en verkenning 131
Geothermische energie 9, 68-73, 99
--uit geothermisch gecomprimeerde
--sedimentaire bekkens 71
--potentieel 69
--onderzoek en exploitatie 69
Gepompte hydro-elektrische systemen 84
Gesmolten Zout Kweekreactor (MSBR) 48
Getijdenenergie 77-8
Gewasmanipulatie 183 Gezinsbeperking 160
Golfenergie 78
Goud 122, 123, 128
Granen 193-5
--hoogresponsieve variëteiten 191-2
Grenzen aan de groei 1, 215
Grenzen aan hulpbronnen 214-6
Groei van de wereldbevolking 2, 152, 206
Groene groenten 193, 197
"Groene Revolutie" 16, 154, 190, 191-3
Grondstoffen 3-5
*Grondstoffen en Mens* 1
*Grondstoffen voor vrijheid* 1
H
Helium 131
Herbiciden 184,
Herstel-technieken voor het milieu 28
H-koolproces 36 (steenkool+H2--> olie)
Hoge Temperatuur Gas Gekoelde
--reactoren 44, 82, 86, 88, 135
Hout 112
Houtbrandstoffen 75, 99
Hygas 36, 38
I
India 75, 76, 95, 169, 191
--niet-commerciële energiebronnen 75
INFCE 45, 49
Informatiesysteem 228
Inkomensverdeling --en voedselvoorziening 160-4
--in ontwikkelingslanden 217
Insecticiden 221
Internationale aspecten 230-2
Internationale organisaties 232
Internationale wateren 127
Investeringsplan 217
*Ipomea aquatica* 197
IJzer 134, 140
--terugwinbaarheid 117-8
IJzererts 141-4
Irrigatie 165, 167, 176-7, 191-2, 208
Italië 94
J
Japan 93, 94, 107
K
Kalium als landbouwgrondstof 182
Katalysatoren 129
Kernbrandstofherverwerking 44, 50
Kerncentrales 21, 45, 228
--geïnstalleerd vermogen 45
--locatie van 53
--restwarmte van 54
Kernenergie 88, 99-100
Kernenergie, wereldwijde --distributie 53
Kernfusie 9, 55-7, 100
--benaderingen voor 55
--magnetische opsluiting 55-6
--micro-explosie 56-7
--veiligheidsproblemen 55
--'tweede generatie'-reacties 57
-geen energie-bron van de toekomst 57
Kerninstallaties voor de productie
-van koolwaterstoffen 89
Kernreactor 3, 43
--snelle kweekreactor 10, 47, 48-50
--gasgekoeld 44
--hogetemperatuur gasgekoeld 47, 48 -- 82, 86, 88, 115
--lichtwater 43, 46
--gesmoltenzoutkweekreactor 48
Kernsplijting 9-10, 43-55, 99-100
--veiligheidsproblemen 10, 50-1
--beveiligingsaspecten 10, 52, 53
Kernsplijtingsreactoren 43
Klimaat 205-11
--afwijkingen 207
--verandering in 205, 210
--verslechtering 206
--effect van menselijke activiteiten op 207, - 210
--impact -van door de mens opgewekte -- energie op- 208, 209
--modellen 209

--onzekerheden 206
--grillen van 207
Knollen 193, 197
Kobalt 126
Kolenconversie 29
Kolenproductie 27, 39
Kolenwinning, alternatieven voor --
--conventionele 39
Koolhydraat-energievoorziening 168
Koolstof als landbouwgrondstof 172-3
Koolstofdioxide
--als landbouwgrondstof 171-3
--in de atmosfeer 27-8, 207, 210
Koolwaterstoffen
--kunstmatige 29
--brandstoffen 10
--synthetische 88-9
Koper 122, 126, 140
Koperproductie, energiebehoefte
--voor 139
Koppers-proces 34, 36
Kosten-batenanalyses 224
Kwik 123, 128
L
Land -als agrarische hulpbron 173-5
Land -kosten voor ontwikkeling 174
Landbouw
-energie-intensieve producten en
-diensten 186
-energiebesparing in 188
-mechanisatie 170
-organisatie 166-8
-productiviteit L6
-grondstoffen en inputs 169
-afval 164-7
Landbouwhervorming 166-8, 169
Landbouwproducten 193-201
Landgebruik 17, 21, 175
Langetermijnproblemen 225
Latijns-Amerika 96, 107
Levenscyclus van materialen 135-41
Levenskwaliteit 2, 12, 14
Levensstandaard 2, 12, 14
Levensverwachting van producten 117,
-136
Licht als landbouwgrondstof 171
Lichtwaterreactoren 43, 46
Lithosfeer 113
LNG 33, 41-2
Lood 122
Lucht 115
Luchttransport 93
Lurgi-kolenvergassingsproces 34-5
M
Magnesium 140
Magnetische levitatie 93
Magnetohydrodynamische
--energieopwekking 83, 101
Mangaanknollen 126
Materialen 102-51
-en energie 137-41
-beschikbaarheid 103
-conclusies en aanbevelingen 149-51
-behoud 217
-verbruik 141-5
-conversie 141-5
-ontwerpbeslissingen 146
-economische expansie 146
-milieu- en energieproblemen 110
-toenemende vraag naar 103
-implicaties voor beleid en actie 148-9
-interactie met ontwerp 145-8
-onderlinge afhankelijkheid van
--energie en voedsel 214-6
-levenscyclus van 135-41
-duurzaamheid van 136-7
-nieuw spectrum van 149
-eerder gebruikt 117
-prijsstijgingen 103
-prijsinelasticiteit 103
-kwalitatieve vraag 107
-hernieuwbare 112
-bronnen 141-5
-rol in de Amerikaanse economie 107
-selectie 145-7
-aanbod 107, 110-35
-zie ook Elementen; Minerale
hulpbronnen; enz.
Materialenbeleid 223
Materialentechnologie 141-9
Meststoffen 178-80, 186, 190-2, 196
---anorganische 178
--stikstof 181-2
--langzame afgifte 179
Metalen 112, 145
Methaan uit dierlijke mest en gewas-
resten 188

Methanol 33, 41-2. 89-90
Mexico 95, 201
Microalgen 201
Midden-Oosten 96
Mijnbouw 132-5
--model van 123
Milieu-mismanagement 205
-herstel-technieken 28
-restauratietechnieken 28
Milieubescherming 132
Milieuschade 132, 212, 220
Militaire industrie 2
Minerale grondstoffen 1, 102, 107, 110, 118-25
--beoordeling van 120
--indeling van 118
--uit zee 125-6
Mineralen
--verwerkingstechnologieën 132
--wereldverbruik 103
Minister van Wetenschap en -- Technologie -226
Motorbrandstoffen 89, 90
MSBR Gesmolten Zout Kweekreactor 48
N
Nationale doelstellingen, formulering van -- 221-2
Natuurlijke hulpbronnen 4
--beheer van 220
--fysische grenzen aan 215
Nikkel 126
Noord-Amerika 93, 161
Nul-energiegroei 25-6
O
Oceaan-exploitatie 125-7
Oceaanstromen voor energieopwekking --80, 99
OECD 12, 28, 34, 73, 81, 220
Olie 29-33, 96, 98
--ontdekkingen 32
--offshore-ontdekkingen 32
--winningskosten 30, 33
--reserves 29-30
--verspilling 32
Oliecrisis 3
Olieschalie 28, 40, 98
--synthetische ruwe olie van 40-1
Onderlinge afhankelijkheid tussen landen 230-2
Ondervoeding. Zie Voedsel Onderzoek en ontwikkeling 4, 15 16, 32, 39, 51, 100, 101, 219
Ongediertebestrijding 165, 167, 182-4
Onkruidbestrijding 182-4
Onkruidverdelgers 184
Ontbossing 27, 75
Ontwapening 217
Ontwikkelingslanden 16, 68, 73, 74, 75-6, 95, 97, 99, 107-10, 152-5, 174, 189-91, 213-4, 217, 231
Oost-Europa 94
Organisch vast afval 99
Organische chemicaliën 28
Organische materialen en --afvalstoffen 73-5
Overheidsbeleid
--formulering of strategieën 226
--interventie 218
--behoefte aan innovatie in procedures --en structuren van 220-1
--rol van 219-22
Ozonlaag 210
P
Pakistan 191
Petrochemische industrie 28-9
Peulvruchten 1 93-6
Phenix-reactor 49
Planning -geïntegreerde 223
Planten 193-4
--plaagresistentie 183
Plantenziekten, resistentie 183
Plastic, kunststoffen 112
Platina 129
Plutonium 49, 50
--politieke risico's 52
--veiligheids- en --beveiligingsproblemen 51
Pott-Broche-proces 39
- = steenkool omzetten naar vloeibaar --product 39
Proalcohol 65
Prognoses 224
Psychologische schade 218
Psycho-sociologische studies 218
Publieke opinie 101, 227-8
Pyrolyse 74
R
Radioactief afval 50-51
Radioactieve gassen 50

Recycling 16, 50, 102, 117-8, 125, 137, 140, 214
*Resources and Man* 1
*Resources for Freedom* 1
Restauratietechnieken voor het milieu 28
Restwarmte 214
--van kerncentrales 54
--terugwinning en benutting van 22-3,
*Rhizobium* 181
Ruimtevaartuigen 131
S
Sasolburg 35
Satellieten 131
--opgeloste elementen in 125
Sedimentair gesteente 126
Sedimentaire bassins 32, 71
Siberië 208
Siliciumcel 61
Snelle kweekreactoren 10, 48-50
Sociale schade 218
Sovjet-Unie 94, 208
Spoorvervoer 93
*Spirulina* 173-201
Sri Lanka 192
Staal, terugwinbaarheid van 118
Staalproducten 141
Staalproductie 135
Staalverbruik 105
Stadsverwarming 24-5, 54
Steenkool 98, 128
--directe vloeibaarmaking 29
--vergassing 27, 34-9, 42
--hydrovergassing 36
--problemen met intensief gebruik 27
--vloeibaarmaking 27, 34-9
--productie van vloeibare koolwaterstoffen
---uit 36
Stikstof als landbouwgrondstof 181
Stikstofbalans 168
Stikstofmeststoffen 181
Stirlingcyclus 92
Stirlingmotor 17
Structurele problemen 226
Supergeleiding 131
Syncrude uit olieschalie 40
Synthaan 36
Synthetische brandstoffen uit
--steenkool 34-40
Synthetische brandstoffen uit
--afvalstoffen 74
T
Tarweroest 183
Technologen,
-verantwoordelijkheden van 101, 222-3
Technologie
--in het kader van onderlinge
--afhankelijkheid
--tussen landen 230-2
--rol van 219
-Technologiebeoordeling 224
Technologieoverdracht 231
-Teerzanden 28, 40 98
-Thermische gradiënten in de zee 78-80

Thorium 47-8
Tin 123-4
Titanium 140
Toename van de wereldbevolking 218
Transport, energie voor 89-93
--brandstoffen 89-90
Transportsector, energiebesparing
-16-19
Transportsystemen 145
--energie-efficiëntie 16-9
Tropische agronomie (=landbouwkunde)
---174
Tsjaad 201
U
Uranium 122, 123
--verrijking 44
--prijzen 45-7
--behoeften 45
--bronnen 45-7
USSR 12, 24
V
Västerås, stadsverwarming 25
Veeteelt 197-8
Verbrandingsmotor 17
Verenigd Koninkrijk 12, 35, 94, 188
Verenigde Staten 12, 16, 24, 36, 67.
--94, 107, 145, 146, 169, 187
Verspilling van grondstoffen 212, 213
Vervangend aardgas (SNG) 34, 36, 41
Vervuiling 128, 134, 220
--atmosferische 1, 27, 207, 210
--meststoffen 179

--thermische 11, 207
--water 1, 111
Vis 199
Vlees 194, 195
-- vraag naar 197-8
Vliegwielen 92
Voedergewassen, 54
Voeding. Zie Voedsel
Voedsel 152-204
--en energieproblemen 185-8
--conclusies en aanbevelingen 202-4
--Interdependentie met energie en
----grondstoffen 214-6
--niet-conventioneel 200-1
Voedselconsumptie 153-4, 161, 169
Voedseldistributie 168
Voedselherverdeling 158
Voedselhulp 158
Voedselprijzen 158
Voedselproductie 154, 158, 161,
189-91, 215-6
--en landbouwbronnen 170-93
--en inkomensverdeling 160-4
Voedseltekorten 152
Voedseltekortprobleem 160-4
Voedselvoorraden 3-5, 163-4
Voedselvraag 153-8
Vruchten 193
W
Wapenevenwicht 2
Wapens 2
Warmte-/elektriciteitsproductie 21-5
Warmtepomp 20
Water
-als landbouwgrondstof 176-7
-verbruik van 110
-ontzilting 112
-elektrolyse 85
-industrieel gebruik 111
-vervuiling 1 , 111
-zuivering 111
-thermische ontleding 86
-Waterstof 84, 89, 90, 101, 115
--energiesysteem 84, 8
--energiedrager 86
--ontvlambaarheidsbereik 88
--productie 85-6
--veiligheidsproblemen 88
--opslag 87
--transport 86-7
Waterstofeconomie, concept van 84
Waterstofelektriciteit 73, 99
Weinberg, Alvin 53
-wereldbevolking van energie voorzien:
-24000 kweekreactoren 53
-4 kweekreactoren per week bouwen 53
-100 jaar lang 53
Wereldbevolking xi, 1, 2, 53, 104, 152,
169, 202, 206, 207, 215-218
Wereldeconomie 217
West-Europa 93, 107
Wetenschappers, verantwoordelijkheden
--van --101, 222-3
Windenergie 77
Winderosie 175
Winkler-planten 34
WOCOL-studie 34
Wolfraam 103, 128, 150
Woonsector, energiebesparing 17, 20
Wortels 193, 197
Z
Zee, thermische gradiënten 78-80
Zeewater 113, 115
Zilver 129-30
Zink 122
Zonne-energie 9, 20-1, 58-68, 99, 100
--toepassing in de dorpseconomie 67-8
--biologische omzetting 59, 60, 65, 67
--economische perspectieven 60-1
--collectoren 63-4
--milieuproblemen 59
--gebruiksmethoden 59-63
--politieke vraagstukken en
---problemen 67
--woningverwarming en -koeling ---64-6,
--opslag 64, 66
--thermische omzetting 63-4 Zonne-
energiecentrale 62, 64
Zonne-energiecentrale in de ruimte --60
Zonnestraling 58
Zonne-zoutwaterbassins 63
Z
Zuid-Amerika 96
Zwaarwater-reactoren 44, 48
Zwaveldioxide-uitstoot 28
Zweden
-stadsverwarming 24-5
-energieconsultatie 228

# BEYOND THE AGE OF WASTE

2nd Edition

**Onafhankelijke meningen over de 1e editie**

"... benadrukt de eindige grenzen van niet-hernieuwbare hulpbronnen en pleit voor meer wetenschappelijk onderzoek en technische ontwikkeling op dit gebied, net als op andere gebieden zoals voedsel en energie. Dergelijke aanbevelingen worden geplaatst binnen hun politieke, economische, sociale en institutionele context en vertegenwoordigen belangrijke
oordelen over kwesties van wereldwijd belang."

**Resources Policy**

"... een voortreffelijke studie van de Club van Rome ... met een uitstekende inleiding ... een nuttig naslagwerk waarvan de talrijke diagrammen en tabellen met informatie aanzienlijk bijdragen aan het begrip voor de algemene lezer."

**Choice**

**Inhoud: Inleiding Energie Materialen Voedsel Klimaat Enkele Mondiale Overwegingen Wetenschap, Technologie en Institutionele Implicaties**

**D. GABOR, U. COLOMBO, A. KING, R. GALLI**
**A Club of Rome Report**

**ISBN 0 08 02730**